

EIXO TEMÁTICO:

- () Arquitetura Bioclimática, Conforto Térmico e Eficiência Energética
- () Bacias Hidrográficas, Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos
- () Biodiversidade e Unidades de Conservação
- () Campo, Agronegócio e as Práticas Sustentáveis
- () Clima, Ambiente e Saúde
- () Desastres, Riscos Ambientais e a Resiliência Urbana
- () Educação Ambiental e Práticas Ambientais
- () Ética e o Direito Ambiental
- () Geotecnologias Aplicadas à Análise Ambiental
- (X) Novas Tecnologias e as Construções Sustentáveis
- () Patrimônio Histórico, Turismo e o Desenvolvimento Local
- () Saúde Pública e o Controle de Vetores
- () Saúde, Saneamento e Ambiente
- () Segurança e Saúde do Trabalhador
- () Urbanismo Ecológico e Infraestrutura Verde

Análise da viabilidade técnica do uso do resíduo de borracha de pneus inservíveis incorporado no concreto

Analysis of the technical feasibility of the use of rubber residue of inservable tires incorporated in the concrete

Análisis de la viabilidad técnica del uso del residuo de goma de neumáticos inservibles incorporados en el concreto

Felipe de Almeida Spósito

Engenheiro Civil, UNIFAI, Brasil
felipsposito@gmail.com

Ana Beatriz Farias Kuester Berto

Engenheira Civil, UNIFAI, Brasil
anabeatrizkuester@gmail.com

Bruno do Vale Silva

Professor Doutor, UNIFAI, Brasil
dovalesilva@fai.com.br

1 INTRODUÇÃO

Com a descoberta da vulcanização da borracha pelo norte-americano Charles Goodyear no ano 1841, se deu início a uma nova era para utilização deste material. (GOODYEAR, 2016). Os primeiros a patentear o pneu para automóveis foram os irmãos Michelin. Essa descoberta modificou o cenário do transporte até então conhecido, substituindo as rodas de madeira e de ferro por pneus de borracha.

A revolução no setor dos transportes, fez com que a fabricação desse material aumentasse em grande escala no mundo todo. Segundo Lagarinhos (2011) o descarte inadequado no período de 2002 ao primeiro quadrimestre de Abril de 2011 correspondeu a 2,1 milhões de toneladas. De acordo com a ANIP (Associação Nacional de Indústria de Pneumáticos), só no Brasil, a produção atingiu mais de 68 milhões de unidades no ano de 2015.

A necessidade de locomoção, o aumento do desenvolvimento urbano e a alta demanda do uso deste material trouxeram consigo problemas ambientais e sociais, pois a maioria dos pneus que são descartados vão parar em locais inapropriados, como terrenos baldios, beira de estradas, aterros a céu aberto entre vários outros destinos finais incorretos, causando transtornos à saúde pública e também ao meio ambiente.

Quando dispostos em locais inapropriados, dois problemas surgem: de saúde pública, pois devido ao seu formato, nos dias de chuva acumulam água em seu interior, servindo de local para proliferação de mosquitos transmissores de doenças, e ambiental, pois quando em combustão estes em contato com o solo geram substâncias que quando percolam contaminam o solo e o lençol freático.

Visto quais os males do descarte incorreto de pneumáticos podem acarretar, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) redigiu a RESOLUÇÃO N° 301 de 21 de Março de 2002 procurando uma maneira de minimizar os descartes, impondo sanções contra empresas, fabricantes e as importadoras de pneumáticos que não coletam e não dão destino final, ambientalmente adequado.

Existem empresas atualmente distribuídas no país que atuam no processo de reciclagem de recuperação e regeneração dos pneumáticos, transformando as peças de pneus em granulados de borracha moída, que já são utilizados para diversas finalidades, até mesmo como material para revestimentos asfálticos no setor da Engenharia Civil.

A construção civil é um dos setores que melhor podem reaproveitar resíduos de materiais que foram desperdiçados e que perderam a serventia para o qual foram originados.

Diante dessa problemática, o objetivo desta pesquisa foi atribuir um final adequado ao granulado de borracha de pneumáticos, na substituição parcial do agregado miúdo do concreto.

2 OBJETIVOS

Analisar se a substituição parcial do agregado miúdo por resíduo de borracha incorporado ao concreto é viável, além de desenvolver um papel de sustentabilidade ao meio ambiente.

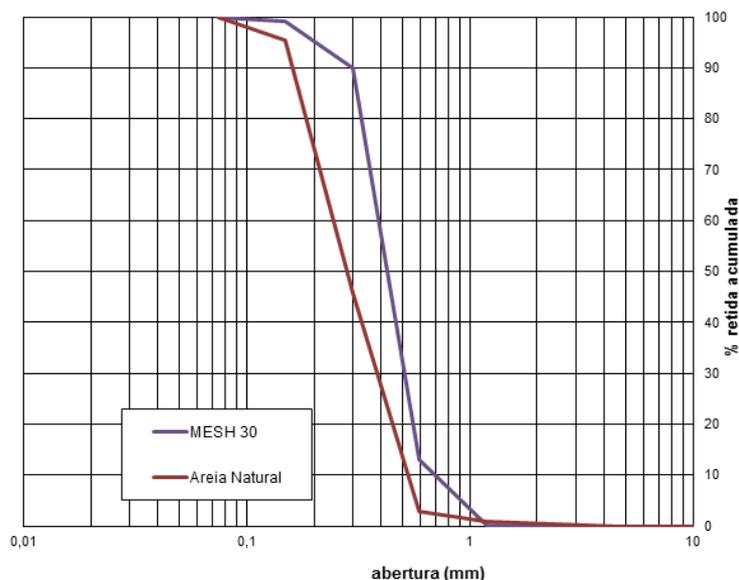
3 METODOLOGIA

O ensaio realizado com a areia natural teve como princípio a definição da granulometria deste material para que com o resultado obtido, fosse feito a comparação da curva granulométrica do mesmo com o resíduo de borracha.

A efetuação do ensaio de peneiramento seguiu a norma ABNT NBR NM 248: 2003, em que pesou-se uma porção aleatória superior à mínima estabelecida pela norma, de modo a garantir que não houvesse perda de material durante esta realização.

O ensaio de peneiramento da borracha foi realizado segundo a mesma norma citada anteriormente, o resíduo utilizado foi o MESH 30 com variação das dimensões entre 0 a 0,5mm, cedidos pela empresa LGF – RECICLA, e o resultado pode ser observado na Figura 1.

Figura 1- Curva Granulométrica da Areia Natural e Mesh 30



Fonte: AUTORES, 2016.

A determinação da dosagem do concreto convencional de controle foi obtida através do Cálculo do Teor de Argamassa e da Fórmula de Molinari para o consumo de cimento seguindo o método do IPT/EPUSP. Já a determinação da dosagem do concreto com resíduo de borracha foi encontrada a partir dos mesmos cálculos da dosagem do concreto convencional de controle, sendo as porcentagens de 4%, 8% e 12% de resíduo de borracha substituído na porcentagem do agregado miúdo.

O teor de argamassa para a determinação dos agregados graúdos e miúdos utilizado foi de

50% e utilizou-se um traço de 1:5. O peso específico do resíduo de borracha é igual a $1,15\text{g/cm}^3$ (VITA, 2006), os cálculos dos consumos dos materiais estão especificados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dosagem dos Materiais

Exemplares	Consumo (kg/m ³)	Cimento (kg) (CP II E 32)	Areia (kg)	Brita 1 (kg)	Água (kg)	Mesh 30 (kg)	Traço
Controle	364,22	4,37	8,74	13,11	2,19	-	1:2:3
4%	358,75	4,31	8,27	12,92	2,15	0,34	1:1,92:0,08:3
8%	353,45	4,24	7,80	12,72	2,12	0,68	1:1,84:0,16:3
12%	348,30	4,18	7,36	12,54	2,09	1,00	1:1,76:0,24:3

Fonte: AUTORES, 2016.

Através dos resultados obtidos pelas fórmulas da dosagem do concreto pesou-se de acordo com o traço o valor de cada material. Para a execução do concreto convencional de controle os materiais foram adicionados à betoneira, previamente umedecida, com capacidade de 120 litros, na qual foi adicionada primeiramente a brita umedecida com uma porção da água do ensaio e logo após adicionou-se todo o cimento e o restante da água e por fim a porção de areia, sendo todo procedimento realizado com a betoneira em movimento.

Já a produção do concreto com resíduo de borracha seguiu os mesmos métodos realizados com o concreto convencional de controle, sendo a única diferença a adição dos materiais a betoneira, na qual a borracha foi adicionada junto com o agregado miúdo.

O ensaio para determinação de consistência pelo abatimento de tronco de cone (Slump Test) foi realizado de acordo com a ABNT NBR NM 67: 1998 para verificação de trabalhabilidade de cada concreto executado. Após a realização do ensaio de abatimento do tronco de cone, o corpo cônico de concreto foi submetido ao ensaio de coesão, sendo realizado com golpes em sua lateral inferior, para verificação do modo de desprendimento de suas porções.

Para a moldagem dos corpos de prova, utilizou-se um total de 12 moldes cilíndricos de dimensões de ($\varnothing 10 \times 20$ cm) para cada amostra de concreto, sendo três moldes para cada porcentagem das amostras de concreto e três para o controle.

A moldagem dos corpos de prova foi efetuada seguindo os passos da norma ABNT NBR 5738:2015: versão corrigida 2016 para todos os corpos de prova.

Depois de passados 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e submetidos à cura.

O ensaio a compressão foi realizado com os corpos de provas após 28 dias de cura, sendo 3 corpos de prova para cada ensaio. O ensaio foi realizado em uma máquina, hidráulica, manual e com mostrador analógico, com capacidade de 100 toneladas, estando todos os corpos de prova regularizados por um prato com disco de Neoprene ($\varnothing 10 \times 20$ cm).

4 RESULTADOS

4.1 Dados técnicos dos concretos no estado fresco

Tabela 2- Análise geral dos concretos no Estado Fresco

% de Resíduo	Abatimento do tronco de cone (cm)	Plasticidade	Homogeneidade	Coesão
0 (controle)	6,8	Boa	Boa	Boa
4	5,4	Média	Boa	Boa
8	1,7	Ruim	Média	Ruim
12	0,7	Péssima	Ruim	Péssima

Fonte: AUTORES, 2016.

4.2 Resistência à Compressão

Tabela 3- Resultados dos ensaio à compressão axial

% de Resíduo de Borracha	Idade (dias)	fck ¹ (MPa)	fckm ² (MPa)	Desvio Padrão
Controle (0)		34,50	35,23	0,64
		35,49		
		35,70		
4	28	24,64	25,16	0,84
		24,72		
		26,13		
8		16,62	17,35	0,94
		17,02		
		18,40		
12		6,62	7,16	0,55
		7,14		
		7,72		

Fonte: AUTORES, 2016. fck¹ = resistência característica do concreto à compressão axial; fckm² = resistência característica média do concreto à compressão axial.

4.3 Influência do resíduo de borracha na densidade do concreto

Tabela 4 - Análise da massa de um dos corpos de prova no estado endurecido

Análise da Massa (kg)	Decaimento da Massa (%)
Controle (0%)	-
4%	2,74
8%	5,07
12%	8,68

Fonte: AUTORES, 2016.

4.4 Viabilidade Econômica

Tabela 5- Custo do m³ do concreto com e sem resíduo de borracha

Exemplares	Total Geral (R\$)
Controle	200,72
4%	243,00
8%	284,02
12%	323,85

Fonte: AUTORES, 2016.

Para a realização dos orçamentos os valores foram coletados da tabela SINAPI de São Paulo do mês de 09/2016 e 1m³ de resíduo de borracha corresponde à R\$ 1.600 a tonelada fornecido pela empresa LGF Recicla.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos aos 28 dias, é possível concluir que a substituição do agregado miúdo pelo resíduo de borracha de pneu MESH 30 causa uma queda na tanto na resistência à compressão axial devido a fraca ligação do resíduo de borracha com a matriz da pasta do cimento como também na densidade do concreto.

No entanto, o concreto com 4% do resíduo de borracha manteve características estruturais e já os concretos realizados com 8% e 12% do resíduo de borracha de pneu, são inviáveis a fins estruturais, pois não atenderam a resistência mínima estabelecida pela norma ABNT NBR 8953:2015 de 20 MPa para concreto estrutural.

O trabalho em questão teve como princípio fixar o teor de argamassa, o traço e a porcentagem água/cimento, sendo assim o traço realizado com concreto convencional obteve resultados de baixa trabalhabilidade não sendo indicado o uso para preenchimento de elementos estruturais, os concretos com resíduo de borracha também se apresentaram com baixa trabalhabilidade, porém com índices ainda piores, uma vez que com aumento da porcentagem da substituição aliada com a fina granulometria e a grande área específica do resíduo como um todo proporciona uma queda ainda maior.

De modo geral, é viável a utilização do concreto com 4% do resíduo de borracha para execução de obras que necessitem de um concreto estrutural e essa substituição contribui com a preservação dos recursos naturais da composição do concreto e também contribui para reaproveitamento de um recurso inerte na natureza. Em contrapartida o uso desse material gera um aumento no custo final em relação ao concreto convencional.

É importante salientar que no presente trabalho não foram realizados estudos sobre a deformação do concreto com resíduo de borracha a longo prazo, teste de termogravimetria, estudo com difração de Raio-X para conhecer melhor as características químicas do resíduo de borracha e análise com microscopia eletrônica de varredura para conhecer o comportamento

entre o resíduo e a pasta de cimento, ficando esses estudos como sugestões para trabalhos futuros.

AGRADECIMENTOS

À empresa LGF Recicla por ter fornecido a amostra de resíduo de borracha e também à empresa Pré-Moldados Panorama por ter disponibilizado o laboratório para a realização dos ensaios à compressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da composição granulométrica:** NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone:** NBR NM 67. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos:** NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova:** NBR 5738: 2015 Versão Corrigida: 2016. Rio de Janeiro, 2016.

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

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP, Departamento de Estudos. **Produção e Vendas 2015.** Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/producao_vendas.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2016.

Goodyear, **Goodyear no Mundo.** Disponível em: <<http://www.goodyear.com.br/institucional/goodyear-mundo/>> Acesso em: 17 ago. 2016.

LAGARINHOS, Carlos A. F. **Reciclagem de Pneus: Análise do Impacto da Legislação Ambiental Através da Logística Reversa,** 2011. 291p. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e dos Materiais) Doutorado em Engenharia, USP, São Paulo.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 301, de 21 de março de 2002. **Altera dispositivos da Resolução nº 258, de 26 de agosto de 1999, que dispõe sobre Pneumáticos,** p. 569 – 570.

SINAPI, **Relatório de Insumos e Composições – SET/16- SEM DESONERAÇÃO.** Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_664> Acesso em: 04 nov. 2016.

VITA, Marcos Onofre de. **Influência da Adição de Resíduo de Borracha Pneumática em Concreto de Alto Desempenho,** (2006). BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA FAPESP, Ilha Solteira – Sp.