

**UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE BORRACHA DE PNEU COMO AGREGADO NA
COMPOSIÇÃO DE CONCRETO**

Davi Pedro Saad

Graduando em Engenharia Civil. Bacharelado em Engenharia Civil. Centro Universitário de Anápolis -
UniEVANGÉLICA

E-mail: davisaad2@gmail.com

Gabriel Cabral Serra

Graduando em Engenharia Civil. Bacharelado em Engenharia Civil. Centro Universitário de Anápolis -
UniEVANGÉLICA

E-mail: gabrielserraeng@gmail.com

Isa Lorena Silva Barbosa

Professora Mestra. Bacharelado em Engenharia Civil. Centro Universitário de Anápolis -
UniEVANGÉLICA

E-mail: isa_barbosa@hotmail.com

Ana Lúcia Carrijo Adorno

Professora Doutora. Bacharelado em Engenharia Civil. Centro Universitário de Anápolis -
UniEVANGÉLICA

E-mail: ana.carrijo@unievangelica.edu.br

UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE BORRACHA DE PNEU COMO AGREGADO NA COMPOSIÇÃO DE CONCRETO

Resumo

A indústria do processo de recauchutagem de pneus gera resíduos que em sua maioria têm sido descartados sem nenhum controle. Este fato contribui para aumentar a poluição ambiental e favorecer a proliferação de vetores nocivos à saúde. Visando encontrar uma aplicação para esse tipo de resíduo, neste trabalho são apresentados resultados experimentais de amostras que tiveram o intuito de avaliar o comportamento e a viabilidade do uso de fibra de borracha proveniente de pneu, adicionada em forma de agregado no concreto, com o objetivo de obter um possível material alternativo para a indústria da construção civil, contribuindo para a proteção ambiental. Prepararam-se uma dosagem de concreto sem resíduos de borracha, para servir de referência, e três diferentes dosagens contendo resíduos de borracha, com substituição do volume do agregado em 5%, 10% e 15%. Aos sete e vinte e oito dias as amostras produzidas, no total de 80 corpos de prova cilíndricos de 15 x 30 cm², foram submetidas ao ensaio de resistência mecânica à compressão simples. Concluiu-se que com a utilização das fibras de pneu, o concreto sofre uma perda de resistência em todos os casos, contudo, os traços com as porcentagens de 5% e 10%, além de um custo menor, atingiram resistência para serem utilizados em elementos não estruturais, como calçadas.

Palavras-chave: Pneus inservíveis. Fibra de borracha. Agregado. Concreto. Reciclagem.

Abstract

The tire retreading industry generates waste residues that has mostly been disposed of without any control. This contributes to increasing environmental pollution and promoting the proliferation of vectors that are harmful to people's health. With the aim to find an application for this type of residue, experimental results of samples with the intention of evaluating the behavior and the feasibility of the use of rubber fiber from tires were presented throughout this article. Such samples were added as an aggregate in the concrete, with the objective of obtaining a possible alternative

material for the construction industry that would contribute to environmental protection. A dosage of rubber-free concrete to serve as reference was prepared, and three different dosages containing rubber residues were prepared with 5%, 10% and 15% volume substitution of the aggregate. After the seventh and the twenty-eighth day, the samples produced, in the total of 80 cylindrical specimens of 15x30 cm², were submitted to the mechanical test of simple compression. We came to conclusion that, with the use of the tire fibers, the concrete undergoes a loss of resistance in all cases. However, the traces with the percentages of 5% and 10%, in addition to a lower cost, reached resistance that allowed it to be used in non-structural elements such as sidewalks.

Keywords: Wasted tires. Rubber fiber. Aggregate. Concrete. Recycling.

1 Introdução

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016), existem cerca de 49.822.708 automóveis no Brasil. Com esse crescimento, um dos problemas que surge é a grande quantidade de pneus que são produzidos e descartados, tendo em vista que estes não têm destinação certa após o uso, e seu descarte feito de forma incorreta causa grandes danos ao meio ambiente.

De acordo com a associação O Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre, 2017), a Reciclanip, que é ligada à Agência Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP, coletou e destinou de forma correta mais de 183 mil toneladas de pneus inservíveis durante 2014, o que equivale a 36,6 milhões de unidades de pneus de carros de passeio. O pneu é considerado inservível quando não há mais condição de ser utilizado ou reciclado.

Um dos processos de reaproveitamento do pneu é a recapagem. A recapagem é um processo em que se retira a banda de rodagem do pneu já gasto, para que se possa adicionar outra nova. No processo de recapagem é produzido um resíduo devido à escoriação da banda de rodagem. Este resíduo que é produzido é descartado na natureza ou reciclado para virar outro material. Uma destinação viável a esse elemento é o uso em concreto destinado a pavimentações, como calçadas e ciclovias, onde no concreto não é solicitado grandes esforços.

As tecnologias mais comuns para dar destino aos pneus usados, além de sua reutilização, são a composição asfáltica, a reforma, a regeneração, a pirólise e a reciclagem energética (MANO; PACHECO; BONELLI, 2010).

Segundo Alves (2006), os pneus, como os demais polímeros, formam uma cadeia dos grandes poluidores da natureza. A participação dos polímeros nos lixos urbanos tem provocado um volume considerável de produtos degradáveis, que vão permanecer por centenas de anos prejudicando o meio ambiente.

A adição de fragmentos de pneus velhos agrega grandes características ao concreto, como: redução do peso próprio; maior flexibilidade e elasticidade; capacidade de absorção de energia; baixa condutividade elétrica; e isolamento térmico acústico (ALVES, 2006). Com todos estes benefícios adquiridos com o estudo da adição deste material no concreto, justifica assim, investir em mais pesquisas sobre este tema.

A pesquisa teve o objetivo de quantificar a resistência à compressão simples e a viabilidade do uso do concreto com as substituições em 5%, 10% e 15% de parte do agregado por borracha proveniente de pneus.

2 ReCICLAGEM

O conceito de desenvolvimento sustentável foi cunhado inicialmente pelo relatório da Brundtland Commission, em 1987, intitulado “Nosso futuro comum” (SEIFFERT, 2010). O relatório foi um produto da Comissão mundial sobre o meio ambiente e desenvolvimento e abordou o desenvolvimento sustentável como aquele que utiliza os recursos naturais, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas necessidades.

De acordo com o Art. 225 da Constituição Federal (BRASIL, 1989), todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia

[RMDF1] Comentário: Erro grave de português ao separar sujeito do objeto.

qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para a presente e futuras gerações.

A partir dos anos 90 e da primeira década de 2000, a preservação do meio ambiente tornou-se um dos fatores de maior influência, adentrando assim o mercado. Deste então, empresas começaram a apresentar soluções para o desenvolvimento sustentável e simultaneamente o aumento da lucratividade de seus negócios. Olhando por este lado, a gestão ambiental não é apenas uma atividade sem fins lucrativos, mas também atividades que podem proporcionar ganhos financeiros para as empresas (SEIFFERT, 2010).

O problema do descarte de lixo está relacionado à falta de locais para a sua disposição e ao aumento crescente da sua produção. Para se ter o gerenciamento da destinação dos resíduos urbanos, se faz necessário um conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento para disposição do lixo de forma ambientalmente segura. Adotando a filosofia “3R”, que significa REDUZIR, REUTILIZAR e RECICLAR, é possível atingir o objetivo do gerenciamento dos resíduos urbanos (MANO, PACHECO, BONELLI, 2010).

Os progressos da humanidade aumentaram a qualidade e a duração da vida, porém, em contrapartida, é um padrão de consumo que demanda matérias primas, o que pode comprometer a qualidade de vida das gerações futuras. A preocupação do ~~bem-estar~~bem-estar das gerações futuras é denominada como crescimento sustentável, assim, espera que essa geração e a geração futura use a capacidade que o homem possui de transformar as matérias de forma sustentável (PHILLIPPI JUNIOR, ROMÉRO, BRUNA, 2004).

Segundo Phillipi Junior, Roméro e Bruna (2004), os conceitos de resíduo e lixo são próximos. Define-se resíduo aquilo que resta de qualquer substância e lixo, aquilo que se varre de casa, do jardim, da rua e se joga fora.

A NBR 10004 (ABNT, 2004) define resíduos nos estados sólido e semi-sólido aqueles que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Consideram-se também resíduos sólidos os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpo d’água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Resíduos industriais são aqueles resíduos gerados pelas indústrias. Estes variam entre 65 a 75% do total gerados em regiões mais industrializadas, sendo que, a responsabilidade de manejo e destinação desses resíduos é sempre da empresa geradora (PHILLIPI JUNIOR, ROMÉRO, BRUNA, 2004).

Para Mano, Pacheco e Bonelli (2010), a desintegração dos produtos descartados em partículas seria a solução ideal para a despoluição do meio ambiente, pois, podem ser incorporados ao solo. Essa solução é muito difícil e tem motivado a busca de soluções alternativas para o descarte dos resíduos, entre elas a reciclagem, que é a forma mais importante para esse descarte, tendo em vista que a reciclagem é o resultado de diversas atividades. Coleta, separação e processamento são as etapas das quais os materiais sem valor servem como matéria-prima na manufatura de bens, anteriormente feito com matéria prima virgem.

Os pneus são constituídos de borrachas natural e sintética vulcanizada, que, quando descartados inadequadamente, servem como local para procriação de mosquitos, pequenos roedores e outros vetores de doenças, podendo causar também incêndios, o que contamina o ar com uma fumaça altamente tóxica.

No Brasil, uma parte dos pneus inservíveis é reaproveitada de diversas formas, depois de ser moída e separada dos demais componentes do pneu, especialmente do aço, que também é reutilizado (CEMPRE, 2017).

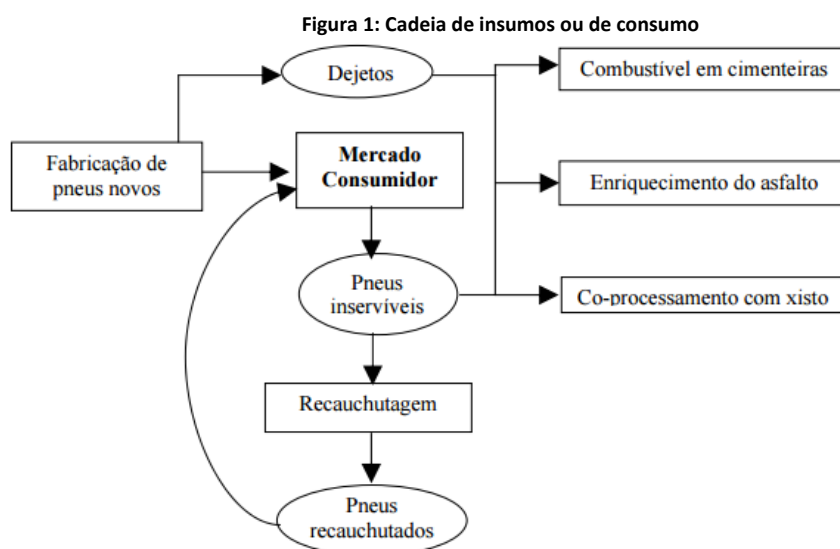
Ainda de acordo com Cempre (2017), os produtos que reutilizam a borracha são solados de sapato, materiais de vedação, dutos pluviais, pisos para quadras poliesportivas, pisos industriais e tapetes para automóveis. A borracha também é misturada ao asfalto para uso em pavimentação, mas a maioria é queimada como combustível alternativo nas indústrias de cimento.

Para Mano, Pacheco e Bonelli (2010), os pneus descartados podem ser reutilizados pela engenharia civil na manutenção de encostas ou para outras funções. Podem, também, ser empregados em fração ao asfalto na pavimentação de rodovias. Apesar de apresentar maior custo, este processo tem a vantagem de aumentar a vida útil das estradas em 100%, pois a borracha se comporta de forma mais elástica, diante das mudanças de temperatura.

Ainda segundo Mano, Pacheco e Bonelli (2010), existem, basicamente, dois processos para reforma de pneus:

- Remoldagem: o pneu é reconstruído pela substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda superfície de seus flancos;
- Recauchutagem: o pneu é recuperado pela troca apenas da banda de rodagem.

A indústria de reutilização dos pneus viabiliza o descarte adequado, por isso se faz necessário a avaliação criteriosa dos pneus inservíveis. A Figura 1 retrata o comportamento deste mercado como uma cadeia de insumos ou de consumo, onde cada componente supre o próximo elo da cadeia. Esta cadeia indica o fluxo dos pneus e de seus dejetos, considerando as principais alternativas atualmente estudadas e desenvolvidas no tocante a sua reutilização nos processos industriais (ARAÚJO & SILVA, 2005).



Fonte: ARAÚJO & SILVA, 2005.

Todas estas destinações são aprovadas pelo IBAMA como destinações ambientalmente adequadas. Para que seja ambientalmente correta, a queima dos pneus nos fornos das cimenteiras é cercada de todos os cuidados ambientais necessários, com o uso de sistemas especiais de filtração e retenção (CEMPRE, 2017).

Segundo a resolução nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (1999), as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos têm a obrigação de coletar e dar destinação final adequada aos pneus inservíveis, na proporção às quantidades fabricadas ou importadas.

Um estudo feito por Campos e Jacintho (2010) concluiu que a adição de fibra de pneu ao concreto causa diminuição em sua resistência, não ocorrendo de forma linear à adição das fibras. De acordo com Santos *et. al.* (2004), a grande vantagem dessas misturas, quando comparada com os concretos usuais, estaria na melhor condição de deformabilidade, pela redução do módulo de elasticidade longitudinal.

3 Materiais e métodos

MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste trabalho é apresentar a possibilidade de usar a fibra de borracha de pneu reciclado em concreto não estrutural, uma vez que se compara traços em que se adiciona a fibra de borracha substituindo uma porcentagem do volume do agregado utilizado na confecção do concreto.

A pesquisa avalia e apresenta as resistências obtidas com ensaio feito à compressão axial, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007), em corpos de prova de concreto com traços definidos: um traço sem resíduos de borracha, para servir de referência, e outros três diferentes traços contendo resíduos de borracha, com substituição do volume do agregado em 5%, 10% e 15%.

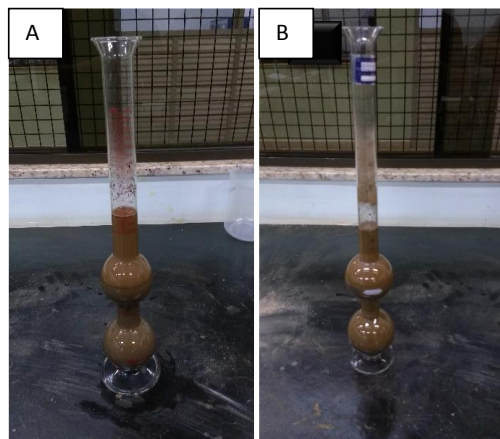
Para obtenção dos traços, foi feito um trabalho de caracterização dos materiais, para definição de suas especificações de forma normatizada, seguindo as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Essa caracterização determina valores para o cálculo da quantidade de cada material a compor o traço, além de conhecimento das características e qualidades dos insumos utilizados.

Foram feitos ensaios de massa unitária da areia e brita, de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006); massa específica da areia, de acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009); determinação da composição granulométrica da areia e brita, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003); determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção da brita, segundo a NBR NM 53 (ABNT, 2009); massa específica do cimento, de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001).

3.1 AREIA

A massa específica da areia natural foi calculada pelo método de Chapman (NBR NM 52, ABNT, 2009), com duas amostras de 500 gramas de areia seca (Figura 2). O resultado obtido, com a média entre as duas amostras, foi igual a 2,65 g/cm³.

Figura 2: Amostras da areia no Frasco Chapman



A) Amostra 1 B) Amostra 2

Fonte: Próprios autores, 2017.

A massa unitária foi determinada de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006). Três amostras de areia foram colocadas em recipiente de 10,1 litros, cada e pesadas (Figura 3), dividindo o peso da areia pelo volume do recipiente, obtendo-se a massa unitária de cada amostra. Feito a média dos valores, obteve-se a massa unitária da areia, igual a 1432,35 kg/m³.

Figura 3: Determinação da massa unitária da areia



Fonte: Próprios autores, 2017.

Para a determinação da composição granulométrica e obtenção do módulo de finura, seguiram-se as prescrições da NBR NM 248 (ABNT, 2003). O ensaio foi feito com duas amostras de 500g, colocadas em uma série de peneiras, agitadas, e calculada a porcentagem retida em cada uma

das peneiras (Figura 4). Obteve-se os seguintes resultados: módulo de finura igual a 2,58 e diâmetro máximo = 4,75mm.



A) Amostra 1

B) Amostra 2

Fonte: Próprios autores, 2017.

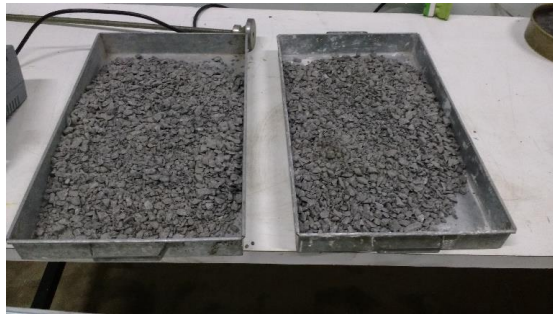
3.2 BRITA

Para a realização do ensaio de massa específica da brita (NBR NM 53, ABNT, 2009), foram utilizadas duas amostras de brita com 2000g cada, chegando-se nos seguintes resultados médios:

- Massa específica do agregado seco = 2,67 g/cm³;
- Massa específica do agregado na condição saturado superfície seca = 2,73 g/cm³;
- Massa específica aparente = 2,81 g/cm³;
- Absorção de água = 1,7%.

Para determinação do módulo de finura (NBR NM 248, ABNT, 2003) foram utilizadas duas amostras de brita de 5000g cada (Figura 5).

Figura 5: Amostras para ensaio do módulo de finura



Fonte: Próprios autores, 2017.

As amostras foram colocadas em uma série de peneiras, agitadas e calculada a porcentagem retida em cada uma (Figura 6), obtendo-se os seguintes resultados médios: módulo de finura igual a 1,95 e diâmetro máximo característico igual a 12,5mm.

Figura 6: Série de peneiras para ensaio de módulo de finura



Fonte: Próprios autores, 2017.

Para determinação da massa unitária da brita (NBR NM 45, ABNT, 2006), foram moldadas três amostras de brita em um recipiente de 10,1 litros e pesada, dividindo o peso da brita pelo volume do recipiente e obtendo a massa unitária de cada amostra. A partir da média entre os valores das amostras, chegou-se na massa unitária da brita, igual a 1577,52 kg/m³.

3.3 CIMENTO

O ensaio de massa específica do cimento foi feito de acordo com a NBR NM 23 (ABNT, 2001). O cimento utilizado foi o CP II E – 32 (Cimento Portland composto de escória de alto-forno). Foram ensaiadas duas amostras com 60g cada, chegando ao valor médio da massa específica igual a 3100 kg/m^3 .

3.4 FIBRA DE BORRACHA DE PNEU

A fibra de borracha de pneu é um resíduo gerado pelo resultado de uma etapa do processo de reutilização do pneu, chamado de recauchutagem.

O pneu já gasto chega à indústria e recebe um tratamento de limpeza da superfície, para verificação da qualidade (Figura 7). Após esta etapa, verifica-se o desgaste e usabilidade do pneu (Figura 8), sendo avaliados, neste processo, itens como: danos superficiais; alteração de talão; cabo rompido no flanco; desgaste excessivo na banda de rodagem; deslocamento de cinta; lote e validade; danos que comprometem a carcaça.

Figura 7: Tratamento de limpeza superficial do pneu



Fonte: Próprios autores, 2017.

Figura 8: Análise da qualidade do pneu



Fonte: Próprios autores, 2017.

Após a aprovação, o pneu passa por um equipamento para raspagem da banda de rodagem (Figura 9). Nesta etapa a fibra surge como um derivado do processo de raspagem, que então é sugada e levada ao local de armazenamento, para o reaproveitamento, como mostrado na Figura 10.

Figura 9: Equipamento de raspagem da banda de rodagem



Fonte: Próprios autores, 2017.

Figura 10: Armazenagem da fibra



Fonte: Próprios autores, 2017.

A fibra do pneu tem dimensões variadas, não permitindo fazer uma caracterização precisa de suas dimensões (Figura 11).

Figura 11: Fibra de borracha de pneu

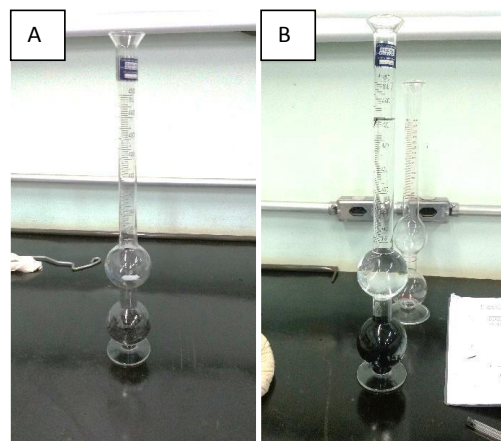


Fonte: Próprios autores, 2017.

Para o cálculo da massa unitária, utilizou-se um recipiente de 10,1 litros, preenchendo de fibra até o topo e pesando. Dividindo o valor pesado pelo volume, encontrou-se a massa unitária. Foram feitas três amostras e calculada a média dos resultados, obtendo-se o valor da massa unitária da fibra de borracha igual a 409,24 kg/m³.

Para massa específica, utilizou-se o frasco de Chapman para o cálculo. Foram ensaiadas duas amostras de 30g cada. Adicionou-se 30g de fibra de borracha de pneu no frasco, tomando cuidado para que não ficasse aderido nas paredes do frasco. Após esta etapa, adicionou-se 400ml de água. Com a água adicionada, o frasco foi agitado até que todas as bolhas de ar fossem retiradas (Figura 12).

Figura 12: Ensaio de massa específica da fibra de borracha



A) Frasco com amostra de fibra

B) Frasco com fibra e água

Fonte: Próprios autores, 2017.

Tendo o peso da fibra e dividindo-se pela diferença do deslocamento da água no frasco, obteve-se o valor da massa específica da fibra, igual a 880 kg/m^3 . Para a fabricação do concreto, antes foi feita a lavagem da fibra para retirada de impurezas, utilizando água corrente. A fibra foi espalhada em um tecido que permitisse a passagem da água, conforme Figura 13, sendo, após a lavagem, armazenada em local coberto até a secagem, que ocorreu de forma natural. A finalidade da lavagem é retirar as impurezas oriundas do processo de fabricação da fibra.

Figura 13: Lavagem da fibra de borracha de pneu



Fonte: Próprios autores, 2017.

3.5 DOSAGEM

Foi determinado uma relação de materiais de 1:2,11:3,10:0,57, definido pelo método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), que representa: 1 kg de cimento, 2,11 kg de areia, 3,10 kg de brita e 0,57 kg de água, correspondente ao traço de referência.

Segundo Alves (2006), o método de dosagem ABCP considera uma relação linear entre o peso do agregado e o fator água/cimento. A relação de agregado graúdo e agregado fino é determinada em função dos pesos específicos aparentes dos agregados, determinados por ensaios padronizados.

O traço referência foi calculado para obtenção da resistência à compressão simples do concreto, aos vinte e oito dias, igual a 20 MPa.

A pesquisa consistiu em substituir 5%, 10% e 15% do volume do agregado graúdo por fibra de borracha de pneu. Foi convertida a quantidade de brita em volume, podendo, assim, chegar à quantidade de fibra, usando os pesos unitários. A Tabela 1 apresenta a relação da quantidade de material, em quilo, para um metro cúbico, utilizada em cada traço estudado.

Tabela 1: Quantidade de material por metro cúbico

Traço	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Água (kg)	Pneu (kg)
REFERÊNCIA	350,87	742,68	1088,48	200	0
5%	350,87	742,98	1034,05	200	14,11
10%	350,87	742,98	979,64	200	28,23

15%	350,87	742,98	925,21	200	42,35
-----	--------	--------	--------	-----	-------

Fonte: Próprios autores, 2017.

Os corpos de prova cilíndricos, de dimensões 150 x 300 mm², foram moldados de acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015) e mantidos em câmara úmida (NBR 9479, ABNT, 2006) até as datas de ensaio de obtenção da resistência à compressão axial: 7, 14, 21 e 28 dias, de acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Foram moldados, para cada traço, vinte corpos de prova, totalizando 80 amostras (Figura 14).

Figura 14: Corpos de prova



Fonte: Próprios autores, 2017

Os corpos de prova foram identificados com etiquetas fixadas na parte superior, logo após a moldagem. Depois de retirados das formas, 24 horas após a moldagem, foram identificados com marcações ao longo da peça e levados para a câmara úmida, conforme a Figura 15.

Figura 15: Câmara úmida onde foram armazenados os corpos de prova de concreto



Fonte: Próprios autores, 2017.

Para cada dia de ensaio definido (7, 14, 21 e 28 dias) romperam-se 20 corpos de prova, cinco para cada traço. A Figura 16 apresenta um corpo de prova, posicionado na prensa para ensaio da resistência à compressão axial.

Figura 20: Ensaio à compressão axial



Fonte: Próprios autores, 2017.

4 apresentação e análise dos Resultados

Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007), nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias, com cinco corpos de prova de cada traço em cada idade. A média dos resultados à compressão axial de cada traço, em cada idade ensaiada, está expressa na Tabela 2.

Tabela 2: Resistência à Compressão Axial (MPa)

Idade (dias)	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4
	Concreto com substituição de 0% de Fibra de Borracha	Concreto com substituição de 5% de Fibra de Borracha	Concreto com substituição de 10% de Fibra de Borracha	Concreto com substituição de 15% de Fibra de Borracha
7	14,3	13,5	11,4	10,2
14	16,4	14,9	13,3	11,9
21	16,9	16,0	14,8	13,5
28	17,6	16,3	15,2	14,1

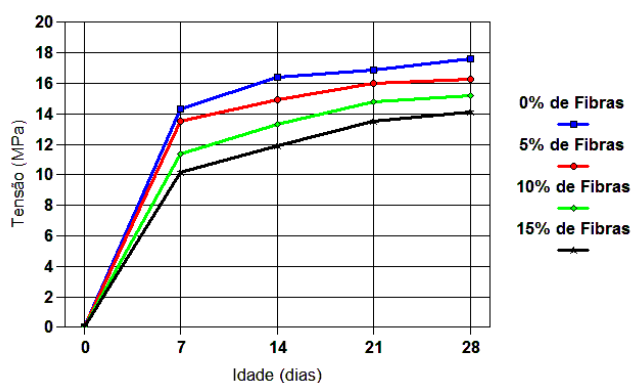
Fonte: Próprios autores, 2017.

A Figura 21 apresenta o gráfico do crescimento da resistência à compressão do concreto para cada traço estudado.

A partir dos dados da Tabela 2 e da Figura 21, percebe-se o crescimento da resistência à compressão do concreto ao longo do tempo. Para o concreto convencional, sem adição de fibras de borracha de pneu, observa-se o crescimento da resistência à compressão de 7 para 28 dias em torno de 23%. Para o traço com utilização de 5% de fibras, o crescimento foi de 21%, já para os traços de 10% e 15%, o crescimento foi de 33% e 38%, respectivamente.

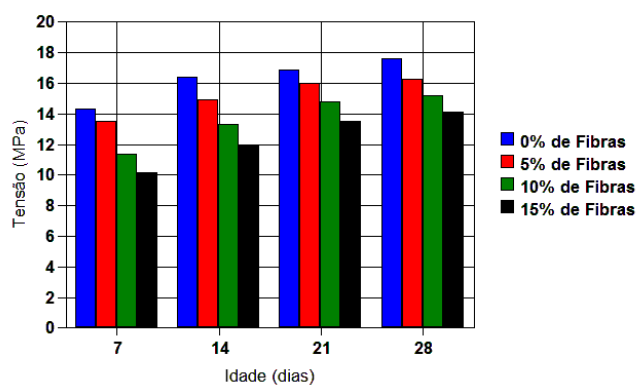
Observa-se que o aumento da porcentagem de substituição de agregado convencional por fibra de borracha no concreto é inversamente proporcional à resistência à compressão, diminuindo com o acréscimo da quantidade de fibras (Figura 22).

Figura 21: Resistência à compressão x Idade dos traços estudados



Fonte: Próprios autores, 2017.

Figura 22: Comparativo da resistência à compressão a cada idade dos quatro traços em estudo



Fonte: Próprios autores, 2017.

A Tabela 3 apresenta a porcentagem de perda da resistência à compressão do concreto, para os traços com utilização de fibras, em relação ao concreto convencional, considerando a idade de 28 dias.

Tabela 3: Perda da resistência à compressão dos concretos com utilização de fibras em relação ao concreto convencional na idade de 28 dias

Traço	Perda de resistência à compressão em relação ao concreto convencional	Diminuição de custo em relação ao concreto convencional para 1m ³ de concreto
Traço 2 Concreto com 5% de fibra de borracha	7,4%	1,5%
Traço 3 Concreto com 10% de fibra de borracha	13,6%	2,9%
Traço 4 Concreto com 15% de fibra de borracha	19,9%	4,4%

Fonte: Próprios autores, 2017.

Com a substituição em 5%, o concreto atingiu, aos vinte e oito dias, uma média de resistência à compressão de 16,3MPa, representando uma perda de resistência de 7,4% em relação ao traço referência, onde não foi utilizado a fibra de pneu.

Com a substituição de 5% do agregado convencional do concreto por fibra de borracha de pneu, o metro cúbico de concreto teve uma redução de 1,5% no seu custo.

A substituição em 10%, aos 28 dias de idade, a resistência média à compressão do concreto foi igual a 15,2 MPa, totalizando uma perda de 13,6%. O concreto com a substituição de 10% de fibra de borracha teve redução no custo do metro cúbico do concreto de 2,9%.

Quando se trata de confecção de peças de concreto com resistência à compressão em torno de 15 MPa, a substituição de 5% a 10% de parte do agregado do concreto por fibra de borracha torna-se viável.

O concreto com 15% de substituição apresentou uma perda considerável de resistência à compressão em relação ao concreto convencional, cerca de 19,9%, atingindo, aos vinte e oito dias, uma resistência à compressão em torno de 14 MPa.

Apesar do concreto com 15% de fibras de borracha de pneu ser 4,4% mais barato que o concreto convencional, sem adição de fibras, ele não é viável quando se trata de uma resistência mínima de 15 MPa.

Para a idade de 28 dias, realizou-se ensaio para obtenção do Módulo de Elasticidade do Concreto (NBR 8522, ABNT, 2008), obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Módulo de Elasticidade do Concreto aos 28 dias de idade

Traço	Módulo de Elasticidade (GPa)
Traço 1 Concreto com 0% de fibra de borracha	20,8
Traço 2 Concreto com 5% de fibra de borracha	19,4
Traço 3 Concreto com 10% de fibra de borracha	18,2
Traço 4 Concreto com 15% de fibra de borracha	15,0

Fonte: Próprios autores, 2017.

Na Tabela 4 observa-se que o módulo de elasticidade do concreto diminui com o aumento do índice de fibras de borracha de pneu no concreto, apresentando vantagem dessas misturas, quando comparadas com os concretos convencionais, na melhor condição de deformabilidade, pela redução do módulo de elasticidade longitudinal.

5 Conclusões

Dentre os traços com fibras de borracha analisados, os que apresentaram melhores resultados de resistência à compressão foram os de 5% e 10% de substituição, que apesar de terem

apresentados resistências menores que o concreto convencional, suas resistências à compressão foram satisfatórias para a utilização em calçadas ou em outras estruturas, onde a resistência à compressão necessária para o concreto não ultrapasse a 15 MPa.

A substituição em 15% de agregado convencional por fibras de borracha de pneu apresentou a vantagem de possuir maior flexibilidade, mas teve a desvantagem da resistência à compressão ser menor que os demais traços, sendo viável sua utilização apenas onde a resistência à compressão necessária para o concreto seja no máximo igual a 14 MPa.

Observou-se que o módulo de elasticidade do concreto diminui com o aumento do índice de fibras de borracha de pneu no concreto, apresentando vantagem dessas misturas, quando comparadas com os concretos convencionais, pela melhor condição de deformabilidade, devido à redução do módulo de elasticidade longitudinal.

Diante disso, se o concreto com adição de 5% a 10% de borracha de pneus inservíveis fosse utilizado em elementos não estruturais, como no caso de pavimentação de calçadas, reduziria o montante de resíduos de pneus no meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ALVES, José Dafico. **Materiais de Construção**. São Paulo, Nobel, 2v., 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9479**, argamassa e concreto – câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2006. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004**, resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro. 2004. 71p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 248**, agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 45**, agregados – determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 53**, agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. 2009. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5738** - Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro. 2015. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5739**, concreto – ensaios de compressão de corpos-de-provas cilíndricos. Rio de Janeiro. 2007. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 52**, [agregado miúdo - determinação da massa específica e massa específica aparente](#). Rio de Janeiro. 2009. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 23**, cimento portland e outros materiais e pó – determinação da massa específica. Rio de Janeiro. 2001. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8522**, concreto - determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro. 2008. 16p.

ARAÚJO, Felipe Costa; DA SILVA, Rogério José. **Pneu inservíveis: análise das leis ambientais vigentes e processos de destinação final adequados**. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENESEP2005_Enegep1004_1123.pdf. Acesso em: [abril de 2017](#).

CAMPOS, Wenderson Cássio De; JACINTHO, Ana Elisabete, P. G. A. **Concreto com adição de fibras de borracha: um estudo frente às resistências mecânicas**. Disponível em: <http://docplayer.com.br/931523-Concreto-com-adicao-de-fibras-de-borracha-um-estudo-frente-as-resistencias-mecanicas.html>. Acesso em: [abril de 2017](#).

CEMPRE, **Compromisso Empresarial Para Reciclagem**. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/7/pneus>. Acesso em: [abril de 2017](#).

Curso de gestão ambiental / Arlindo Philippi Jr., Marcelo de Andrade Roméro, Gilda Collet Bruna, editores. – Barueri, SP: Manole, 2004. – (Coleção Ambiental ; 1).

Gestão ambiental: instrumentos, esferas de ação e educação ambiental / Mari Elizabete Bernardini Seiffert. – 1. ed. – 3. reimpr. – São Paulo: Atlas, 2010.

Guia Prático para Construção de Calçadas. Disponível em: http://www.sindusconms.com.br/guia_calcada/guia_calçadas.pdf. Acesso em: [abril de 2017](#).

IBGE, **frota municipal de veículos**. Disponível em: <http://cicades.ibge.gov.br/painel/frota.php>. Acesso em: 07 de novembro de 2016.

MANO, Eloisa Biasotto. **Meio Ambiente, poluição e reciclagem**/ Eloisa Biasotto Mano, Élen B A. V. Pacheco, Cláudia M. C. Bonelli, --2. ed. – São Paulo: Blucher, 2010.

RESOLUÇÃO Nº 258, DE 26 DE AGOSTO DE 1999. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25899.html>. Acesso em: [abril de 2017](#).

Rio de Janeiro. 2005. 8p.

SANTOS, Antonio carlos dos; BARBOZA, Aline da Silva Ramos; GOMES, Paulo César Correia; LIMA, Flávio Barboza de. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a**

partir da reciclagem de pneus para aplicação em elementos pré-moldados. Disponível em: ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0589d.pdf>. Acesso em: abril de 2017.