



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

DESEMPENHO FÍSICO MECÂNICO E ACÚSTICO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM MATERIAIS ALTERNATIVOS

PACS: (43.50.-x. Ruído: seus efeitos e controle)

Da Silva, Fabiana Maria(1); Alves, Samira Moreira (1) Miranda Jr., Edson Jansen Pedrosa de(2); Angelin, Andressa Fernanda (1); Lintz, Rosa Cristina Cecche(1)
(1)Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia
(2)Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus São Luís – Centro Histórico, Extensão Itaqui-Bacanga
Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Tecnologia – Rua Paschoal Marmo, 1888 – CEP 13484-332 – Jardim Nova Itália – Limeira/SP
Brasil
Tel: +55 (19) 996417325
E-Mail: faby_febs@yahoo.com.br

Palavras Chave: Propriedades acústicas; Materiais alternativos; Compósitos cimentícios; Borracha de pneus;

ABSTRACT

This work evaluated the physical, mechanical and acoustic properties of cementitious composites with partial replacement of the fine aggregate by tire rubber. For the characterization of the composites, the following tests were performed: water absorption, voids index, specific mass, compressive strength, flexural tensile strength and ultrasonic test. The incorporation of rubber as an aggregate in the cementitious composites proved to be promising for the production of a material with better acoustic performance, besides collaborating with sustainability, through the reduction of the use of natural materials and the adequate disposal of waste.

RESUMO

Este trabalho avaliou as propriedades físicas, mecânicas e acústicas de compósitos cimentícios com substituição parcial do agregado miúdo por borracha de pneus. Para a caracterização dos compósitos foram realizados os seguintes ensaios: absorção de água, índice de vazios, massa específica, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e ensaio ultrassônico. A incorporação de borracha como agregado nos compósitos cimentícios mostrou-se promissor para a produção de um material com melhor desempenho acústico, além de colaborar com a sustentabilidade, por meio da redução do uso de materiais naturais e a destinação adequada de resíduos.

1. INTRODUÇÃO

O problema acústico das edificações tem sido um desafio para a indústria da construção civil. Atualmente diante das especificações da normalização brasileira quanto ao desempenho das edificações (ABNT NBR 15575:2013), além das preocupações relacionadas ao consumo de energia e a busca por ambientes mais confortáveis aos usuários, é indiscutível a importância

das pesquisas de materiais que ofereçam melhor desempenho quanto ao isolamento termo-acústico.

Os ruídos são sons indesejáveis que geram efeitos desagradáveis: em níveis elevados, podem causar perda da audição e aumento da pressão arterial (efeitos fisiológicos), incômodos, por exemplo, perturbação do sono, stress, tensão, queda do desempenho, interferência com a comunicação oral, irritações (efeitos psicológicos), podem causar danos e falhas estruturais (efeitos mecânicos) [1].

As propriedades acústicas do concreto são definidas como a sua capacidade para reduzir a transmissão de som. A densidade da mistura de concreto convencional pode proporcionar uma massa suficiente para refletir o som, no entanto, o concreto convencional é um mau absorvedor de som, o que pode levar a ecos dentro de espaços fechados [2].

O nível de absorção de som é expresso como pelo coeficiente de absorção. Um material muito denso, como por exemplo, o concreto de alto desempenho, reflete 100% o som, ou seja, tem um coeficiente de absorção próximo de 0 (zero).

O concreto de alto desempenho (CAD) é resultado da evolução tecnológica dos materiais de construção que foram sendo aprimorados e utilizados na produção de concreto com resistência e durabilidade superior ao concreto estrutural convencional, no entanto, quando se qualifica o concreto de alto desempenho, não se trata apenas do desempenho mecânico, mas das diversas propriedades que interferem no desempenho global da obra [3]; [4].

Os materiais absorventes de som são fibrosos (lã de vidro, lã de rocha etc.), ou porosos (espuma de poliuretano – do tipo das esponjas utilizadas em limpeza doméstica etc.). Geralmente são materiais leves que não possuem características estruturais [1].

Os principais fenômenos da propagação das ondas sonora são a absorção e a reflexão, a absorção do som que ocorre nas superfícies incidentes é uma forma de atenuação sonora. Quando uma onda incide em um obstáculo, como por exemplo uma parede, parte da energia será refletida pelo objeto e outra parte será absorvida e dissipada em forma de calor, e o restante produz a vibração das moléculas do ar do lado oposto ao obstáculo, fazendo com que a parede se comporte como uma nova fonte sonora [5].

A atenuação consiste na diminuição da intensidade sonora e a velocidade com que a onda sonora se propaga é chamada velocidade de propagação da onda sonora ou velocidade do som. A velocidade do som no ar, à temperatura ambiente é na ordem de 340m/s e na água é de 1500m/s [1]. Nos sólidos, a velocidade de propagação sonora é ainda maior do que no ar e nos líquidos, e pode ser subdividida em velocidade de propagação sonora longitudinal (associada com as ondas de pressão ou compressão – ondas-P) e transversal (associada com as ondas de cisalhamento – ondas-S).

Alguns trabalhos têm mostrado que a inserção de borracha no concreto, pode ser uma alternativa para melhorar as propriedades acústicas, já que a borracha diminui a densidade do concreto e causa um aumento na porosidade.

Holmes *et al.* [2] estudaram as propriedades acústicas (absorção sonora e isolamento acústico) em altas e baixas frequências, de painel de concreto (dimensões: 245 x 245 x 100mm) contendo borracha. Os coeficientes de absorção sonora foram medidos utilizando a incidência aleatória, método em que o tempo de reverberação de uma sala é gravado com e sem as amostras presentes. O agregado miúdo foi parcialmente substituído pela borracha de pneus com teores de substituição de 7.5 e 15%. Foram utilizadas 4 diferentes granulometrias (<1 mm; 1-3mm; 2-6mm e 10-19 mm).

Os resultados encontrados relatam que comparando os painéis com teores de 7.5% e 15% de borracha, a absorção de som aumentou em 623%, 107%, 33% e 21% para os tamanhos <1 mm; 1-3mm; 2-6mm e 10-19mm respectivamente. Em altas frequências a isolamento de som teve uma melhora em todos os concretos contendo borracha, em baixa frequência o resultado foi semelhante ao concreto sem borracha.

Aliabdo *et al.* [6] estudaram a disponibilidade de utilização de partículas de borracha de pneus em aplicações não-estruturais com foco nas propriedades de isolamento térmico e acústico de concreto. A substituição da areia por borracha de pneus foi de 20, 40, 60, 80 e 100%. Quanto ao isolamento acústico e térmico a borracha melhorou as propriedades do concreto, sendo a redução da resistência mecânica o fator negativo do uso de altos teores de borracha.

Dentro desse contexto, neste trabalho foram avaliadas as propriedades físicas, mecânicas e acústicas de compósitos cimentícios com substituição parcial do agregado miúdo por borracha de pneus. O ensaio ultrassônico foi o método utilizado para a obtenção da atenuação sonora e da velocidade de propagação das ondas-P. Por meio dos resultados obtidos verificou-se que a borracha causou perda significativa na resistência mecânica, no entanto, melhorou o desempenho acústico dos compósitos cimentícios.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

Os materiais utilizados para a produção dos compósitos cimentícios foram: cimento CPV ARI; sílica ativa, areia natural de origem quartzosa; borracha proveniente da recauchutagem de pneus; água proveniente do sistema de abastecimento de água do município de Limeira/SP e aditivo superplastificante.

A fim de caracterizar os materiais foram determinadas as massas específicas e unitárias dos agregados miúdos, conforme a NBR NM 52:2009 e a massa específica da sílica e do cimento foi determinada conforme a NBR 16605:2017.

O ensaio para determinação granulométrica dos agregados foi realizado conforme a NBR 248:2003, e foram classificados de acordo com a NBR 7211:2009. Os resultados da caracterização dos materiais utilizados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização dos materiais

Material	Massa Específica (g/cm ³)	Massa Unitária (g/cm ³)	Dimensão máxima característica (mm)	Módulo de Finura
Cimento	3,08	-	-	-
Sílica	2,21	-	-	-
Areia	2,65	1,6	1,2	0,76
Borracha	1,16	0,4	1,16	3,49
SPA*	1,08	-	-	-

2.2. Métodos

2.2.1. Dosagem

Foram produzidos três diferentes traços de compósitos cimentícios, sendo o de referência (Ref) sem adição de borracha, os outros dois com substituição de 25% (B25) e 50% (B50) da areia por borracha. As composições cimentícias desenvolvidas nesta pesquisa apresentaram consumo de cimento de 450 kg/m³; 10% de sílica ativa em relação à quantidade de cimento, relação água/aglomerante de 0.35, o teor de aditivo superplastificante em relação à quantidade de cimento foi 0,75% para o traço referência e de 1.5% para os traços com borracha. A Tabela 2 apresenta as dosagens de materiais utilizados.

Tabela 2. Quantidade de materiais utilizados em (kg/m³)

Traço	Cimento	Sílica	Areia	Borracha	SPA	a/c
Ref	450,00	50,00	1090,00	0,00	3,38	175,00
B25	450,00	50,00	850,00	120,00	6,75	175,00
B50	450,00	50,00	546,67	240,00	6,75	175,00

2.2.2. Moldagem e cura dos corpos de prova

Para o processo de mistura dos compósitos foi utilizada uma argamassadeira e seguiu-se as especificações da ABNT NBR 16541:2016.

Imediatamente após a retirada da argamassadeira, foi realizado o ensaio de índice de consistência de acordo com a ABNT NBR 13276:2016.

Para cada traço foram moldados 9 corpos de prova prismáticos de 4cm de largura, 4cm de espessura e 16cm de comprimento; 6 corpos de prova cilíndricos 5cm de diâmetro por 10 cm de altura. Após 24 horas, foram desmoldados, e, em seguida, submetidos ao processo de cura úmida. Para a moldagem e cura dos corpos de prova prismáticos seguiram-se as recomendações da ABNT NBR 13279:2005 e da ABNT NBR 7215:1997 para os corpos de prova cilíndricos.

2.2.3. Caracterização dos compósitos

Para a caracterização dos compósitos cimentícios foram realizados os seguintes testes:

- Índice de consistência de acordo com a ABNT NBR 13276:2016;
- Massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado de acordo com a ABNT NBR 9833:2009;
- Resistência à tração e à compressão de acordo com a ABNT NBR 13279:2005, sendo que o teste foi realizado aos 7 e aos 28 dias de cura;
- Absorção de água, índice de vazios e massa específica no estado endurecido, de acordo com a ABNT NBR 9778:2009;
- Ensaio ultrassônico de acordo com as especificações da norma EN ISO 9712 "Non-destructive testing - Qualification and certification of NDT personnel – General

principles” para a obtenção do coeficiente de atenuação e da velocidade de propagação das ondas-P.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Índice de Consistência

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de espalhamento em (mm) dos compósitos cimentícios, medida utilizada para a verificação da consistência das misturas no estado fresco. Observa-se que a borracha causou uma diminuição significativa no espalhamento, sendo que em relação à mistura sem borracha houve uma queda na ordem de 52,6% no valor do espalhamento, mesmo aumentando em 50% a quantidade de aditivo superplastificante. Quando materiais hidrofóbicos como a borracha são adicionados à mistura a uniformidade do fluxo de água é prejudicada, levando a locais de falta de água [7].

Tabela 3. Resultados de espalhamento

Traço	Espalhamento(mm)
Ref	188
B25	89
B50	89

3.2 Massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado

Na Tabelas 4. estão apresentados os resultados de massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado dos compósitos. Observa-se que a borracha causou uma diminuição na massa específica na ordem de 28,6% e 42,9% respectivamente para os compósitos com substituição de 25% e 50% de areia por borracha. Houve um aumento significativo na quantidade de ar incorporado sendo esse aumento na ordem de 372,5% e 521,4% respectivamente para os compósitos com 25% e 50% de substituição da areia por borracha.

Tabela 4. Resultados da massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado

Traço	Massa específica(kg/m ³)	Teor de ar (%)
Ref	2206,59	5,60
B25	1575,31	26,46
B50	1259,14	34,80

3.3 Resistência à tração e à compressão

A borracha interferiu significativamente na resistência mecânica dos compósitos cimentícios. Devido ao seu menor valor de módulo de elasticidade e natureza hidrofóbica, quanto maior a

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

quantidade de borracha na mistura, maior a concentração de pontos fracos na mistura causando perda significativa na resistência à tração e à compressão conforme mostram as Figuras 1 e 2.

Observa-se que a queda de resistência à tração aos 28 dias foi de 65,2% e 79,7% respectivamente para os compósitos com substituição de 25% e 50% de areia por borracha. Observa-se ainda, que não houve aumento na resistência à tração aos 28 dias para os compósitos contendo borracha.

Na resistência à compressão os compósitos com substituição de 25% e 50% de areia por borracha apresentaram quedas na ordem de 76,2% e 90,5% respectivamente.

A natureza hidrofóbica da borracha, ou seja, a propriedade responsável pela repelência da água, faz com que a água repelida fique aprisionada ao redor das partículas de borracha causando um aumento dos vazios o que resulta em pontos fracos na matriz cimentícia [8].

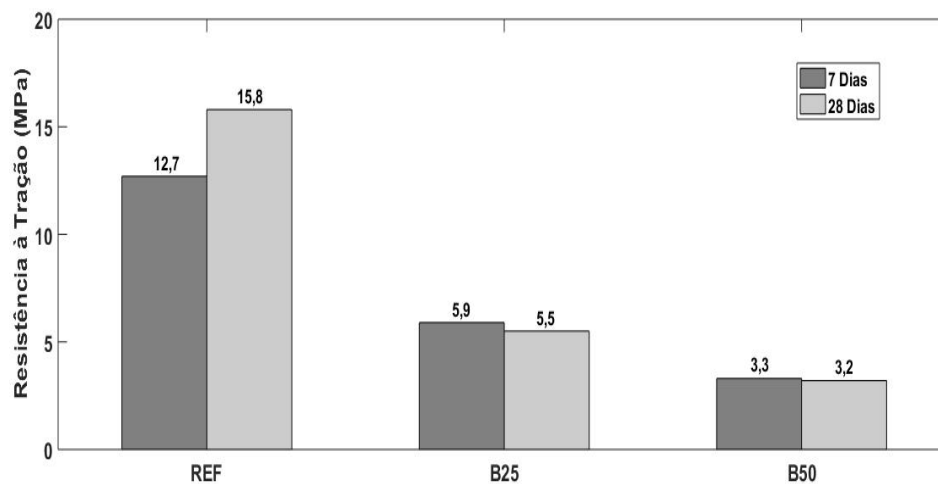


Figura 1 - Resistência à tração aos 7 e 28 dias

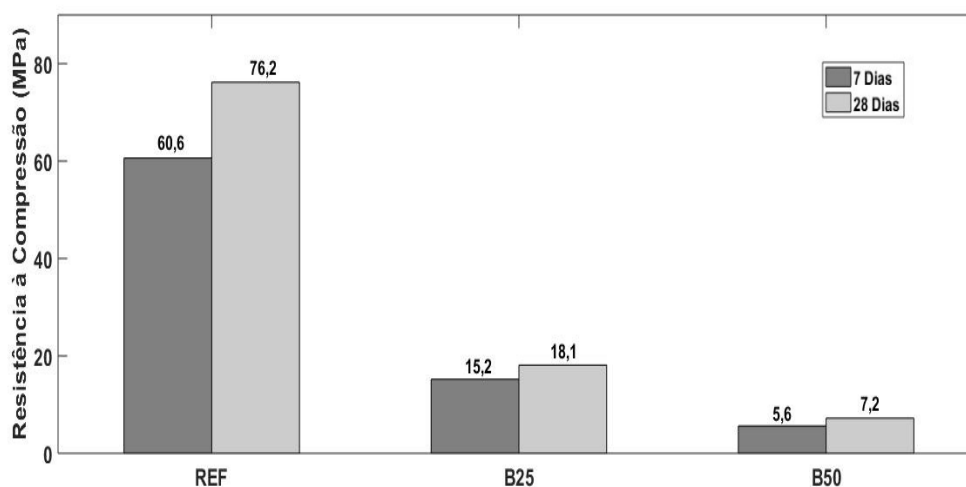


Figura 2 - Resistência à compressão aos 7 e 28 dias

3.4 Absorção de água, índice de vazios e massa específica no estado endurecido

O ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica foi realizado em uma amostra de 3 corpos de provas prismáticos para cada traço aos 28 dias. Os resultados médios estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados de absorção de água, índice de vazios e massa específica

Traço	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (kg/m ³)
Ref	5,1	11	2164
B25	7,4	12,3	1662
B50	12,1	17	1411

Observa-se que com o aumento da substituição da areia por borracha houve um aumento no índice de vazios e na absorção de água, o que é consequência da natureza hidrofóbica da borracha que causa maior porosidade no concreto.

Devido a menor densidade da borracha em comparação a areia, com o aumento da borracha na mistura a densidade dos compósitos também é menor.

3.5 Propriedades acústicas

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados das propriedades acústicas dos compósitos cimentícios, sendo que na Figura 3 estão relacionadas à massa específica dos compósitos e o coeficiente de atenuação e na Figura 4 a massa específica e a velocidade de propagação das ondas-P. Observa-se que as propriedades acústicas são melhores com o aumento do teor de borracha na mistura.

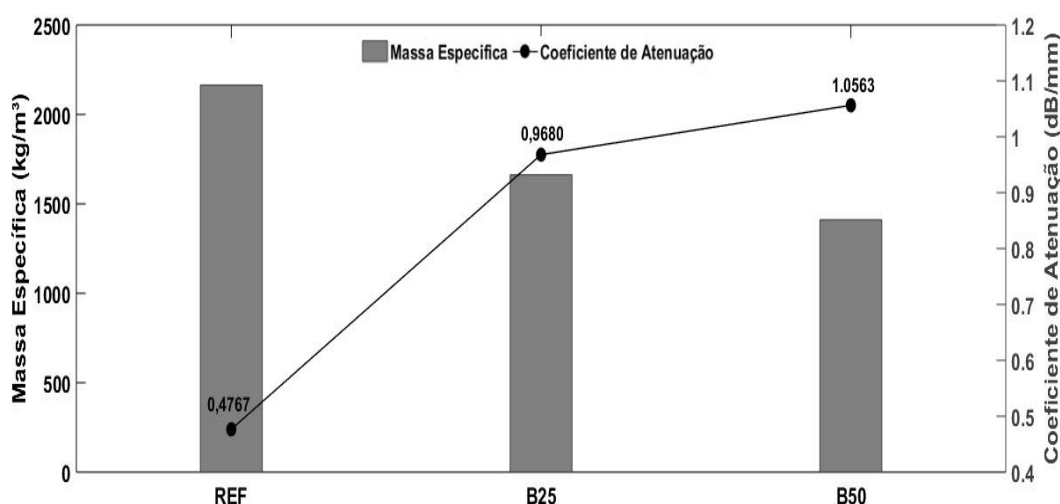


Figura 3 - Relação da massa específica e coeficiente de atenuação

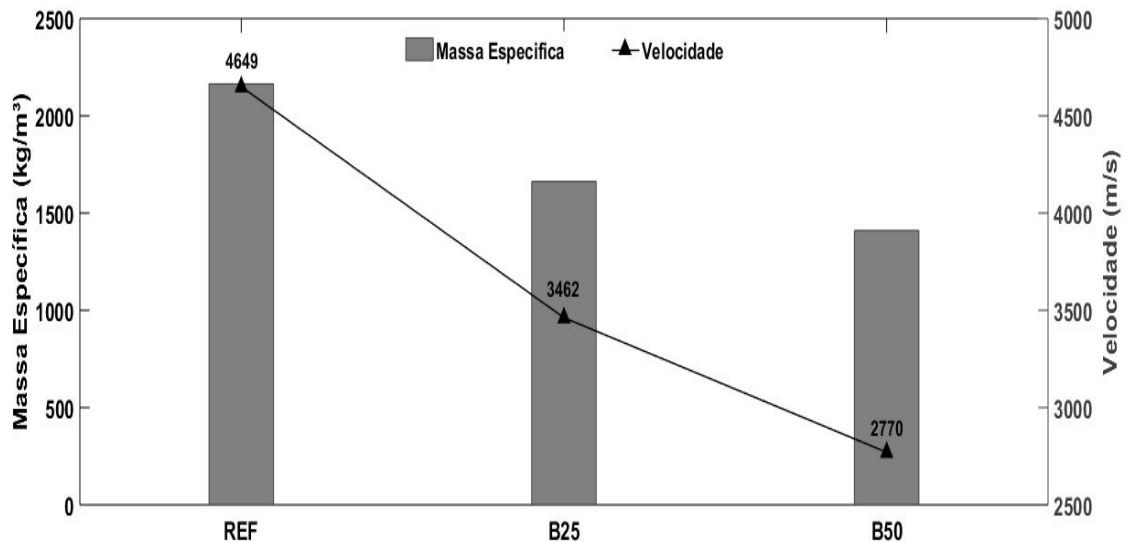


Figura 4 - Relação da massa específica e velocidade de propagação das ondas-P

4. CONCLUSÃO

Por meio dos resultados obtidos observa-se que não se descarta a possibilidade de utilizar a borracha de pneus para a produção de compósitos cimentícios com características especiais, mesmo, com o fato da queda da resistência mecânica. Analisando as características dos compósitos com inserção de borracha de pneus pode-se destacar que:

A borracha influenciou significativamente nas características reológicas dos compósitos, fato observado pela diminuição do valor de espalhamento verificado no ensaio de índice de consistência;

Com o aumento da substituição da areia por borracha de pneus, ocorreu o aumento do teor de ar incorporado, diminuição da massa específica tanto no estado fresco como no estado endurecido, aumento do índice de vazios e na absorção de água e diminuição significativa da resistência à tração e compressão;

Quanto às propriedades acústicas verificou-se que a borracha proporcionou melhorias aos compósitos cimentícios, apresentando um aumento na atenuação e diminuição na velocidade de propagação das ondas-P.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BISTAFÁ, S. R. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2ª edição. São Paulo, 2011.
- [2] HOLMES, N.; BROWNE, A.; MONTAGUE, C. Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement. *Construction and Building Materials*, v. 73, p. 195–204, 2014.
- [3] AITCIN, P.-C. *Concreto de Alto Desempenho*. 1.ed., 667p, São Paulo: Pini, 2000.
- [4] TUTIKIAN, B. F.; ISAIA, G. C.; HELENE, P. *Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho*. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Concreto: Ciência e Tecnologia*. 1ª Edição, 2011.



FIA 2018

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre**

- [5] BARBOSA, A.L.S. Estudo de Barreiras Acústicas para a Atenuação do Ruído Aeronáutico no Aeroporto de Congonhas em São Paulo, (Tese-Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- [6] ALIABDO, A. A.; ABD ELMOATY, A. E. M.; ABDELBASET, M. M. Utilization of waste rubber in non-structural applications. *Construction and Building Materials*, v. 91, p. 195–207, 2015.
- [7] CHOU, L. H.; LU, C.K.; CHANG, J.R.; LEE, M.T. Use of waste rubber as concrete additive. *Waste management & research*, v. 25, n. April 2006, p. 68–76, 2007.
- [8] SHU, X.; HUANG, B. Recycling of waste tire rubber in asphalt and Portland cement concrete: An overview. *Construction and Building Materials*, v. 67, p. 217–224, 2014.