

## **ESTUDO DA ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE PNEU E ARGILA EXPANDIDA EM CONCRETOS LEVES PARA USO EM PEÇAS PRÉ-MOLDADAS**

**Vanessa Gentil de Oliveira Almeida**  
vanessa.gentil@hotmail.com

**Jose Nilton Soares Santos**  
niltonsoares8@gmail.com

**Maria de Fátima Ribeiro da Silva**  
mary.fatima86@gmail.com

**Robert dos Santos Argolo**  
robert\_0067@hotmail.com

**Jhonattan Leite Cordovil**  
jhonattanb13@gmail.com

**Resumo:** Na sociedade contemporânea o aumento da quantidade de resíduos despejados em locais inapropriados, é uma problemática, como exemplo o pneu que é um material com tempo de deterioração natural extenso, sua queima gera poluentes consideravelmente nocivos, à saúde e ao meio ambiente e seu descarte em áreas indevidas pode acarretar em vetores de várias doenças. Para se mitigar estes problemas o homem iniciou um processo de reciclagem de pneus, e emprega o produto do reaproveitamento em vários âmbitos. Neste projeto será substituído parcialmente areia por resíduo de pneu, para a produção de concreto leve com argila expandida que se caracteriza por apresentar massa específica menor do que o convencional, bom isolamento termo acústico. Foram executados ensaios de caracterização em todos os materiais e posteriormente feito o cálculo do traço, por meio do método da ABCP. Foi feita a substituição parcial de 2.5 e 5% de agregado miúdo natural por resíduo de borracha de pneu em forma de pó, e 50% da argila expandida C2215 e 50% de argila expandida C1506 como agregado graúdo. Os concretos leves com resíduo de pneu foram avaliados por meio de ensaios mecânicos: resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, com o objetivo de avaliar a aplicabilidade do concreto leve com adição de resíduos de pneu, com fim não estrutural, para a produção de peças pré-moldadas. Através do ensaio de resistência à compressão axial e diametral foi obtido, respectivamente os valores de 19,43 e 1,68 MPa para a matriz, 8,72 e 1,03 MPa para 2.5% de resíduo de borracha, 8,29 e 0,82 MPa para 5% de resíduo de borracha.

**Palavras-Chave:** Resíduo de pneu, Argila expandida, Concreto leve, Resistência à compressão, Resistência à compressão diametral.

### **INTRODUÇÃO**

O concreto de cimento Portland é o material da construção civil mais utilizado em todo o mundo, devido aos seus componentes serem facilmente encontrados e sua aplicação ser adaptável em qualquer condição. Desde a década de 70, o concreto é conhecido como uma mistura simples de cimento, agregados e água, e com o avanço tecnológico, houve uma grande evolução desse material, incorporando novas técnicas e equipamentos para estudo do concreto (ROSSIGNOLO, 2009).

Um desses avanços tecnológicos foi o surgimento do concreto com agregados leves. É amplamente utilizado na construção civil por beneficiar a diminuição da massa específica, abaixo de 2000 kg/m<sup>3</sup>, do concreto e consequentemente a redução dos esforços na estrutura da edificação, economia de fôrmas e cimbramento (ROSSIGNOLO, 2009).

Os agregados leves possuem duas classificações: naturais, obtidos de jazidas, como a pedra-pomes e o tufo vulcânico. E os agregados leves artificiais produzidos por vários processos industriais, como a argila

expandida (objeto de estudo dessa pesquisa) e a escória sinterizada, tendo suas massas específicas variando entre 650 kg/m<sup>3</sup> e 900 kg/m<sup>3</sup> (ANGELIN, 2014).

O concreto leve é definido como o material que atinge a resistência à compressão mínima de 17 MPa aos 28 dias (ACI 213R/2003). O uso do concreto leve acarreta numa maior produtividade, pelo fato de possuir menor peso próprio em relação aos concretos convencionais, que por consequência facilita o seu transporte durante a etapa de execução na obra, reduzindo o custo final da construção (BORJA, 2011).

Outro material que vem sendo usado como agregado para concreto é o resíduo de pneus inservíveis. De acordo com ANIP (2018), 100 milhões de pneus usados são dispostos em aterros, terrenos baldios, rios e lagos. Porém, outros milhões de pneus novos são fabricados a cada ano no País. Tendo como matéria-prima a borracha vulcanizada, este material não se degrada facilmente e, quando queimada a céu aberto, contamina o meio ambiente.

O concreto convencional normalmente é confeccionado sem nenhum tipo de adição. Porém, com a preocupação do descarte inadequado de pneus no meio ambiente, surgiu a possibilidade do seu uso no concreto, substituindo parcialmente o agregado miúdo (TRIGO, 2008).

Para Fioriti (2007), mesmo já existindo reaproveitamento deste tipo de resíduo, o mercado para esse material reciclado ainda não é suficiente para a grande quantidade de pneus acumulados.

Segundo Kamimura (2002), em Dakota do Sul (Estados Unidos) estão substituindo a areia por resíduos de borracha provenientes do processo de recauchutagem de pneus, na confecção de placas pré-moldadas de concreto para construção de moradias.

Reciclar esse tipo de resíduos na forma de componentes para a construção civil traz uma série de benefício para a sociedade, como

redução de matérias-primas extraídas da natureza, diminuição da emissão de poluentes e diminuição no custo de novos materiais (RODRIGUES; FERREIRA, 2006).

Este trabalho tem como objeto de estudo o aproveitamento do resíduo da borracha de pneu na composição e produção de concreto leve feito com argila expandida para fabricação de elementos pré-moldados. Para isso, foram produzidos concretos contendo variações de argila expandida, areia e cimento, mantendo constante o fator água/cimento (concreto referência) e concretos com adições de porcentagens de resíduo de borracha de pneu. As matérias primas foram caracterizadas por meio de ensaios físicos. Foram produzidos corpos de prova cilíndricos (100x200) mm de concretos submetidos aos ensaios de resistência mecânica à compressão axial e resistência mecânica por compressão diametral, e densidade aparente após cura aos 28 dias.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Caracterização dos materiais*

O resíduo de borracha de pneu foi coletado na empresa que realiza o processo de recauchutagem de pneus, na cidade de nossa senhora do socorro/se, e levado ao laboratório de materiais de construção do Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância.

Como parte do material que foi coletado estava úmido, o mesmo foi colocado na estufa para secagem por 24 horas a uma temperatura de 105 °C. Em seguida, o material foi submetido aos ensaios de granulometria (NBR NM 248/2003), massa unitária (NBR NM 45/2006) e massa específica (NBR 9776/1988).

As argilas expandidas foram adquiridas na cidade de São Paulo, pela empresa CINEXPAN. Foram adquiridas argilas expandidas com dois diâmetros diferentes (C2215 e C1506). As mesmas foram levadas ao laboratório de materiais de construção

do Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância, onde foram submetidas aos ensaios de análise granulométrica segundo a (NBR NM 248/ 2003), e ao ensaio de massa unitária, de acordo com a (NBR NM 45/2006).

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o CP II F – 32 (cimento portland composto com filer), pois este tipo de cimento é facilmente encontrado no mercado e utilizado na região. A NBR 11578/1997 prescreve este cimento possuindo em sua composição em torno de 90 a 94% de clínquer e gesso, 6 a 10% de material calcário.

As matérias-primas foram caracterizadas pelos seguintes ensaios: análise granulométrica (areia, argila expandida e resíduo de borracha) de acordo com a NBR NM 248/2003. A massa específica (areia e resíduo de borracha) foi realizada pelo método do frasco de Chapman, pela NBR 9776/1988. A massa unitária (areia, argila expandida e resíduo de borracha) foi analisada de acordo com a NBR NM 45/2006. O cimento foi caracterizado pelos ensaios de módulo de finura (NBR 11579/2013), consistência normal (NBR NM 43/2003), tempo de pega (NBR NM 65/2003), massa específica (NBR NM 23/2001) e expansibilidade (NBR 11582/1991).

### **Método de dosagem**

A dosagem adotada na pesquisa foi seguindo o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), para a obtenção de um concreto leve de argila expandida com características e propriedades desejadas.

O mesmo método de dosagem foi adotado para o concreto leve de argila expandida com resíduo de borracha de pneu.

Antes do início da execução e produção do concreto referência e do concreto contendo 2,5 e 5% de resíduo de pneu, As argilas expandidas foram saturadas em água por 24 horas antes da concretagem, pois de acordo com Rossignolo (2003), agregados leves

com índice de absorção maiores que 10% em 24 horas de imersão, é recomendado a saturação prévia antes da mistura, pois haverá dificuldade em manter a trabalhabilidade adequada do concreto durante o lançamento.

Os materiais foram misturados em uma betoneira com capacidade de 200 l.

Para cada traço foi avaliada sua trabalhabilidade por meio do ensaio de abatimento do tronco de cone (Figura 1) conforme a NBR NM 67/1998.



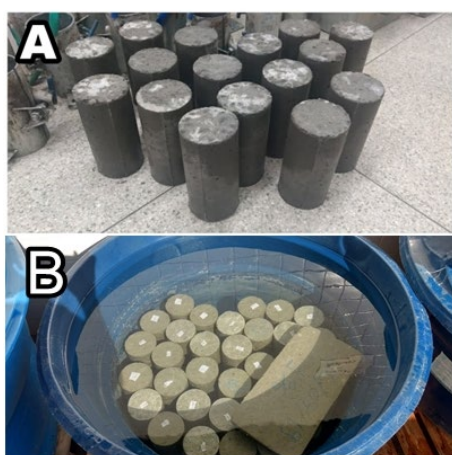
**Figura 1** - Ensaio de abatimento do tronco de cone.

Para a produção dos corpos de prova (Figura 2), tanto para o concreto referência, quanto para o concreto com o resíduo de borracha de pneu, foram moldados 6 corpos de prova para ensaio de resistência à compressão axial e 6 corpos de prova para o ensaio de resistência à tração por compressão diametral e mais 3 para o ensaio de absorção de água por imersão e massa específica, para 28 dias, totalizando 15 corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 100 mm x 200 mm.



**Figura 2** - Corpos de prova.

Segundo a NBR 5738/2015, após a moldagem dos corpos de prova, os mesmos foram levados para dentro do Laboratório de Materiais de Construção, longe de qualquer ação, protegido de intempéries que pudesse perturbar o concreto, durante 24 horas para a cura inicial. Passada às 24 horas de cura inicial, os corpos de prova foram desmoldados, identificados e colocados em um tanque com água (Figura 3), onde ficaram pelo período de 28 dias, até o dia de realização dos ensaios.



**Figura 3** - A) Corpos de prova desmoldados;  
B) Corpos de prova submersos no tanque

### ***Ensaio do concreto no estado endurecido***

#### ***A) Absorção de água por imersão e massa específica***

O ensaio de absorção de água e massa específica foram de acordo com as recomendações da NBR 9778/2005, após um período de 28 dias de cura.

Foram moldados três corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Federal de Sergipe – Campus Estância.

#### ***B) Resistência à compressão axial e Resistência à tração por compressão diametral***

A resistência à compressão axial (Figura 4) foi determinada seguindo as prescrições da

NBR 5739/2018. Foram utilizados corpos de prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, com idade de 28 dias. O ensaio de resistência foi realizado no Laboratório do Departamento de Construção Civil da Universidade Federal de Sergipe, localizada em São Cristóvão.



**Figura 4** - Ensaio de resistência à compressão axial

A resistência à tração por compressão diametral (Figura 5) foi determinada segundo as prescrições da NBR 7222/2011. Neste ensaio foram utilizados corpos de prova cilíndricos com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura. O ensaio foi realizado no Laboratório do Departamento de Construção Civil da Universidade Federal de Sergipe, localizada em São Cristóvão.



**Figura 5** - Ensaio de resistência à tração por compressão diametral

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização dos materiais

A Tabela 1 apresenta a massa unitária e massa específica de todos os materiais utilizados nesta pesquisa. Nota-se que a massa unitária entre os tipos de argila expandida são diferentes, sobretudo devido às condições de produção. Os agregados de diâmetro maiores apresentam, por sua vez, massa unitária mais baixa.

**Tabela 1** - Ensaio de caracterização das matérias primas

Matéria Prima	Massa Unitária (g/cm <sup>3</sup> )	Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )
Areia	1,52±0,006	2,59±0,007
Cimento	-	3,27±0,005
Resíduo de borracha	0,38±0,007	1,18±0,014
Arg ex Ø 15 mm	0,66±0,018	2,55±0,0017
Arg ex Ø22 mm	0,52±0,007	2,64±0,0035

### Absorção de água por imersão e massa específica

A tabela 2 ilustra os resultados de absorção de água por imersão e massa específica para todas as formulações de traço. Os resultados representam a média de três valores encontrados nos ensaios.

**Tabela 2** - Absorção de água por imersão e massa específica dos concreto referência, concretos com 2.5 e 5% de resíduo de borracha

Concretos	Absorção de água por imersão (%)	Massa específica (kh/m <sup>3</sup> )
Concreto referência	7,69±0,15	1680±30
Concreto com 2,5% de resíduo	9,55±1,44	1280±40
Concreto com 5% de resíduo	11,69±1,69	1277±15

Segundo a Tabela 2, foi observada uma tendência de aumento de valores de absorção

por imersão em 24,19% e 52% quando há a incorporação de 2,5 e 5% de resíduo de borracha, respectivamente, no concreto em relação ao concreto leve da mistura referência. Segundo Angelin (2018), isso ocorre pelo fato da borracha apresentar natureza hidrofóbica e superfície áspera, que faz aumentar o volume de vazios.

Em relação à massa específica, com a substituição do agregado miúdo pelo resíduo de borracha de pneu, houve uma redução de 24% nas misturas de concreto leve contendo 2.5%, e 23% na mistura com 5%, em relação ao concreto contendo somente argila expandida. Isso se deve ao fato da borracha possuir massa específica (1,18 g/cm<sup>3</sup>) menor do que a areia (2,59 g/cm<sup>3</sup>), ou seja, é menos denso, logo ocupará menos espaço, e conseqüentemente reduzirá o peso do concreto.

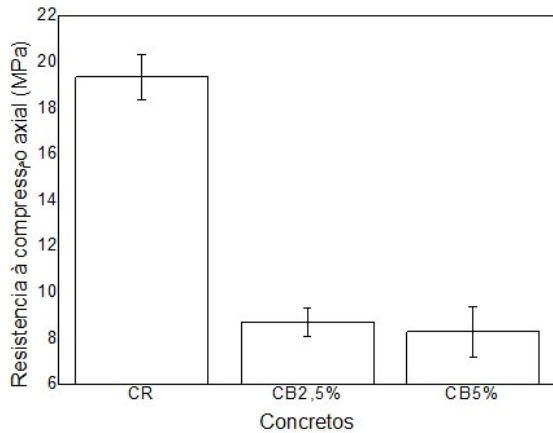
### Resistência à compressão axial e Resistência à tração por compressão diametral

A Tabela 3 apresenta os resultados das resistências à compressão e resistência à tração por compressão diametral em relação ao tempo de cura de 28 dias dos concretos: referência, com 2,5% e com 5% de resíduo de borracha de pneu.

**Tabela 3** - Resistência à compressão axial e resistência à compressão diametral aos 28 dias

Concreto	Resistência à compressão axial (MPa)	Resistência à tração por compressão diametral (MPa)
Referência	19,43±0,98	1,68±0,29
Com 2.5% de resíduo de borracha	8,72±0,61	1,03±0,16
Com 5% de resíduo de borracha	8,29±1,08	0,82±0,19

A Figura 6 apresenta os valores médios dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial para os concretos leves com e sem resíduo de borracha.



**Figura 6** - Resistência à compressão axial, aos 28 dias, do concreto leve referência (CR) e concretos leves com borracha (CB2,5%-CB5%)

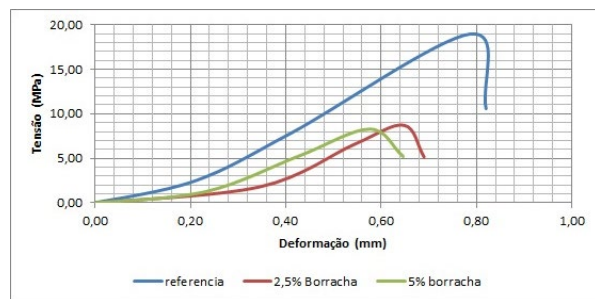
O concreto leve referência foi o que apresentou maiores valores de resistência à compressão axial aos 28 dias. Fazendo uma comparação, os concretos leves com borracha com substituição de 2,5 e 5% representaram uma queda em suas resistências de 55 e 58%, respectivamente, em relação ao concreto leve referência. Entretanto, essa queda é menos significativa de um traço pra outro contendo resíduo de borracha.

Esses resultados confirmam que, quanto maior a porcentagem de resíduo de borracha substituindo o agregado miúdo natural, menor será a resistência do concreto.

Os resultados médios e desvios padrões de cada traço foram analisados por meio do método estatístico ANOVA, onde segundo Walpole (2009), o software analisa a variância entre grupos utilizando o índice de significância de 95% cujo valor usualmente utilizado é ( $p < 0,05$ ) para resultados significativos. Com isso, foi observado que o valor de  $p$  nestes traços ficou maior, ou seja, não significativo, logo se pode afirmar que a dispersão dos resultados de resistência são iguais e que nenhuma

conclusão pode ser expressa.

No ensaio de resistência à compressão axial (Figura 7), o concreto referência obteve uma tensão máxima de 19,43 MPa, com uma deformação de 0,80 mm, onde foi verificado a ruptura brusca do concreto ensaiado, o que constata a sua fragilidade. A mistura com 2,5% de resíduo de borracha obteve um valor de 8,72 MPa, com uma deformação de 0,63 mm, e a mistura de 5% de resíduo de borracha obteve um valor de 8,29 MPa, com uma deformação de 0,59 mm. Nas misturas com resíduo de borracha, o gráfico mostra que após a carga ser aplicada no concreto, o mesmo não rompe bruscamente, devido a borracha ser um polímero artificial, ou seja, um material dúctil.



**Figura 7** - Gráfico de tensão x deformação para a resistência à compressão axial

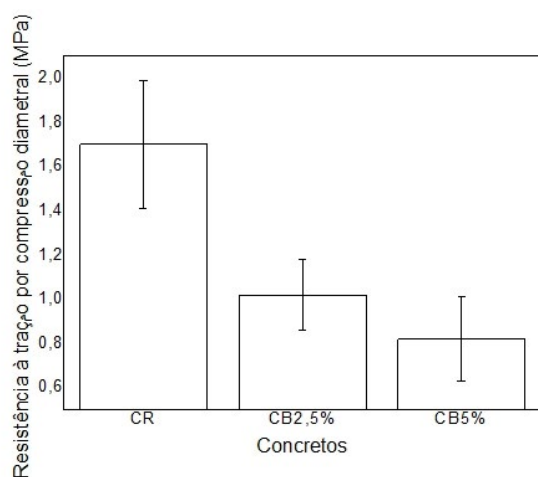
Com o gráfico tensão x deformação para a resistência à compressão axial (Figura 7), foi possível analisar a área referente de cada traço para o cálculo da tenacidade, ou seja, a quantidade de energia absorvida pelo material antes de sua ruptura, dos concretos leves estudados. Segue abaixo os resultados encontrados para cada traço de concreto para o ensaio de resistência à compressão axial, como mostra a Tabela 4.

Os resultados mostraram que os concretos com resíduo de borracha mostraram-se mais frágeis em relação ao concreto referência, ou seja, os concretos com resíduo de borracha não conseguem se deformar tanto quanto o concreto somente com argila expandida quando se é aplicado uma carga sob o mesmo.

**Tabela 4** - Resultados da tenacidade em relação ao gráfico tensão x deformação para resistência à compressão axial

Concreto leve	Tenacidade (J/m <sup>3</sup> )
Referência	6,85
2,5% de resíduo de borracha	2,23
5% de resíduo de borracha	2,29

A Figura 8 ilustra os valores do ensaio de resistência à tração por compressão diametral para os traços de concreto leve com e sem resíduo de borracha.



**Figura 8** - Resistência à tração por compressão diametral, aos 28 dias, do concreto leve referência (CR) e concretos leves com borracha (CB2,5%-CB5%)

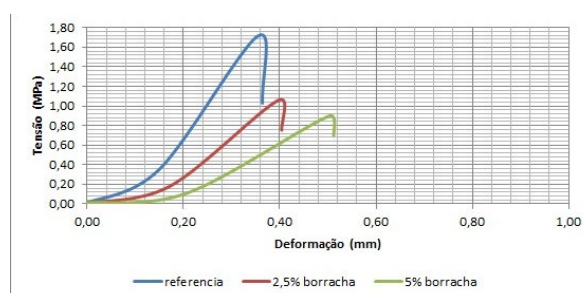
Assim como nos resultados do ensaio de resistência à compressão axial, foi possível observar que houve uma queda na resistência à tração por compressão diametral nos concretos leves com resíduo de borracha em relação ao concreto leve referência.

Houve uma queda de 40%, em relação ao concreto leve referência, na resistência do concreto leve com substituição de 2,5% de resíduo de borracha, e 52% no concreto leve contendo 5% de resíduo de pneu.

Os resultados médios e os desvios padrões foram analisados por meio do método estatístico ANOVA, comentado

anteriormente. Os resultados mostraram não significativos, podendo afirmar que as variações de resistência são iguais.

No ensaio de resistência à tração por compressão diametral (Figura 9), houve a queda brusca em todos os traços de concreto. O concreto referência mostrou uma deformação de 0,38 mm, o concreto com 2,5% de resíduo de borracha apresentou uma deformação de 0,40 mm, e o concreto com 5% de resíduo de borracha uma deformação de 0,50 mm.



**Figura 9** - Gráfico de tensão x deformação para resistência à tração por compressão diametral

Também foi calculado a tenacidade de cada traço de concreto leve em relação ao gráfico tensão x deformação para a resistência à tração por compressão diametral (Figura 9), como mostra a Tabela 5. Assim como no ensaio de resistência à compressão axial, os concretos leves somente com argila expandida se mostraram com valor de tenacidade maior que as outras misturas, ou seja, o concreto referência consegue se deformar mais que os concreto com resíduo de borracha.

**Tabela 9** - Resultados da tenacidade em relação ao gráfico tensão x deformação para resistência à tração por compressão diametral

Concreto leve	Tenacidade (J/m <sup>3</sup> )
Referência	0,24
2,5% de resíduo de borracha	0,15
5% de resíduo de borracha	0,16

## CONCLUSÕES

O presente projeto reuniu e obteve dados atualizados referentes ao concreto leve com argila expandida com adição de borracha de pneu, uma vez que não há muitas referências falando do assunto.

Verificou-se também, a partir dos ensaios, que o concreto com menor teor de borracha obteve maior resistência à compressão axial e tração diametral de 8,72 MPa e 1,03 MPa, respectivamente.

Para trabalhos futuros podem-se realizar traços com mais variações e percentuais de argila expandida e resíduo de borracha, como também encontrar traço que permita ao concreto leve com resíduo de borracha de pneu ter finalidade estrutural.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: Cimento Portland: Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 43: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR NM 45: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 65. Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 2003.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 11579: Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75  $\mu\text{m}$  (nº 200), Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11582: Cimento Portland – Determinação da expansibilidade de Le Chatelier. Rio de Janeiro, 1991.



ANGELIN, F. A. Concreto leve estrutural - Desempenhos físicos, térmicos, mecânicos e microestruturais. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2014.

ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. São Paulo, 2018.

BORJA, E.V. Efeito da adição da argila expandida e adições minerais na formulação de concretos estruturais leves autoadensáveis. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

FIORITI, C. F. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo. 2007. 202. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

KAMIMURA E. Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

RODRIGUES, M. R. P.; FERREIRA, O. P. Compósito cimentício com adição de Partículas de borracha de pneus inservíveis. Pesquisa e Tecnologia Minerva. São Paulo, 2006.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. Pini, São Paulo, 2009.

TRIGO, A. P. M. Estudo de lajes com adição de resíduo de pneu. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Ilha Solteira, 2008.