

## **AValiação DE RESÍDUOS DA BORRACHA DA INDÚSTRIA CALÇADISTA PARA PRODUÇÃO DE INTERTRAVADOS**

**Maria Thayne dos Reis Monteiro**

**Juceline Batista dos Santos Bastos**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

**RESUMO:** A política nacional de resíduos sólidos instituiu como obrigação das geradoras de resíduos uma destinação ambientalmente correta do passivo ambiental, em paralelo com essa preocupação, observa-se o uso demasiado dos recursos naturais na construção civil, visando contribuir com o meio ambiente, este artigo avalia o emprego do resíduo de borracha em substituição a 10, 15 e 20% do agregado miúdo na confecção de blocos intertravados. Esses foram avaliados quanto à resistência à compressão e absorção. Verificou-se que o uso da borracha gera um aumento na absorção de água nos corpos de prova e uma perda de resistência considerável. Entretanto, seu emprego pode ser indicado em intertravados de passeios públicos e calçadas. Observa-se ainda que a borracha não apresentou-se como um resíduo perigoso, o que favorece seu uso em uma destinação mais apropriada e sem danos ao meio ambiente.

**ABSTRACT:** The national solid waste policy has established as an obligation of waste generators an environmentally correct destination of this environmental liability, in parallel with this concern, we observe the excessive use of natural resources in construction, aiming to contribute to the environment, this article investigates the use of rubber waste in substitution of 10, 15 and 20% of the aggregate in the manufacture of interlocked blocks. These were evaluated for compressive strength and absorption. The use of rubber has been found to increase the absorption in the specimens and a considerable loss of strength. However, its use may be indicated in interlocking public walks and sidewalks. It is also observed that the rubber was not a hazardous waste, which favors its use in a more appropriate destination and without damage to the environment.

### **1. INTRODUÇÃO**

A construção civil é um dos mais importantes setores da economia do país, nas últimas décadas, vem se apresentando como vilã para o meio ambiente. Pesquisa divulgada em 2013 pela Fundação Dom Cabral (entidade que atua no desenvolvimento e consultoria de empresas e negócios sustentáveis) aponta que 75% dos recursos naturais estão sendo destinados a esse setor, mostram também que ele consome cerca de 44% da energia produzida no país, além de aparecer como uma das maiores produtoras de resíduos. Estudos realizados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) em 2012 mostram que os resíduos da construção civil representam de 50 a 70% da massa de resíduos sólidos urbanos no Brasil.

Assim, como as empresas da construção civil, várias outras têm contribuído com a escassez dos recursos naturais e com a poluição do meio ambiente, seja pela liberação de gases e/ou por não darem uma destinação ambientalmente correta aos resíduos que produzem. Para mitigar esse desgaste ambiental, foram criadas resoluções que tornam obrigação da empresa a destinação correta dos resíduos gerados, a resolução nº 307 (2002) do CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente estabelece que os geradores devam reduzir, reutilizar e dar uma destinação final aos resíduos, além de implantar programas de gerenciamento dos mesmos.

Nesse sentido, na tentativa de diminuir os impactos causados pela construção civil, dando uma destinação aos resíduos, estão sendo realizadas pesquisas que incorporem os mesmos na fabricação de produtos utilizados na construção civil, como por exemplo: confecção de blocos intertravados para pavimentação. Esse tipo de pavimento apresenta diversas vantagens, dentre elas: ser de fácil execução por chegar da fábrica pronta para aplicação, não necessitando assim, de mão de obra especializada, apresenta menor custo para manutenção, além de agregar grande valor estético, pois pode ser produzido em vários formatos e cores.

Essa pavimentação possui também a vantagem de poder ser inserido em sua composição outros materiais que venham a somar ou a substituir material já utilizado. No momento há diversas pesquisas, nas quais serão citadas no decorrer do trabalho, que estudam a substituição dos agregados por resíduo de pneus inservíveis, e elas apresentaram resultados positivos quanto à substituição.

Já em outra pesquisa realizada em paralelo com esta, no qual o objetivo era avaliar os resíduos química e ambientalmente, conhecendo dessa forma o impacto da substituição da areia pelo resíduo na pavimentação, Rabelo (2019) concluiu que o resíduo é rico em sílica e óxido de cálcio, apresentando incidência de fluoreto no extrato de lixiviação, podendo dessa forma ser classificado como resíduo perigoso. Observou-se ainda que nos blocos ocorrem o encapsulamento desses compostos, evitando, dessa forma, a disseminação dos contaminantes e também concluiu que a substituição do agregado miúdo pelo resíduo da borracha não trará prejuízo ambiental, ao contrário trará contribuição para o ambiente dando um destino sustentável ao resíduo. Dessa maneira, justifica-se o objetivo da presente pesquisa que visa contribuir para a redução dos recursos naturais explorados pela construção civil e destinar de maneira adequada, o resíduo de borracha originada na recauchutagem solado de calçados.

Assim, este artigo visa contribuir para a minimização da destinação inadequada do resíduo da borracha da indústria calçadista e do uso dos recursos naturais na construção civil, por meio da incorporação desse resíduo na produção de intertravados.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Bloco Intertravado de Concreto**

Wiebbilling (2015) indica que a pavimentação intertravada se destaca pela sua eficiência ambiental, por ser semipermeável, contribuindo para a drenagem urbana e ainda existe a possibilidade de adicionar resíduos em sua composição. Além disso, este possui um baixo custo de manutenção e o tráfego pode ser liberado imediatamente após a execução sem necessitar de mão de obra especializada.

Fioriti (2007) afirma que seguindo os requisitos básicos como uma sub-base bem executada e usando blocos com qualidade e fazendo um assentamento correto esse pavimento pode chegar a 25 anos de vida útil. Essa pesquisa cita ainda que os blocos apresentam eficiência ambiental, por apresentarem a possibilidade de inserir resíduo na sua composição e por ser semipermeáveis, contribuindo dessa forma para a drenagem urbana.

### **2.2. Reciclagem de resíduos sólidos**

De acordo com a NBR (Norma Brasileira Regulamentadora) 10.004 (2004), resíduos sólidos são os que resultam de atividade de origem industrial, doméstica hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, incluindo nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, que exijam para isso soluções, técnicas e economicamente, inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define como destinação ambientalmente adequada, incluir reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético ou outras destinações, devendo observar as normas operacionais específicas de modo evitar danos ou riscos à saúde, minimizando os impactos ambientais.

Para John (2000), reciclagem é umas das condições para atingir o desenvolvimento sustentável. Sob o ponto de vista da cadeia produtiva da construção civil, a reciclagem de resíduos é umas das formas de redução do seu impacto ambiental na área.

### 2.3. Utilização de resíduos na composição de blocos de concreto

Com o avanço da tecnologia, a utilização de resíduos industriais está se tornando cada vez mais importante na construção civil. No início dos anos 60, uma grande variedade de resíduos e de materiais foram introduzida no mercado, o que vem acontecendo até nossos dias, à medida que são realizadas novas aplicações (Fioriti e Akasaki, 2004).

Segundo esses autores, a possibilidade do aproveitamento de resíduo de borracha proveniente da recauchutagem de pneus para a fabricação de blocos de concreto com função estrutural é indicada quando a quantidade de resíduo na composição do concreto seja no máximo de 13% em volume, para que essa adição não venha diminuir a resistência da peça.

Já Santos (2005), em seus estudos sobre o comportamento do concreto com a borracha de pneu, percebeu que de 10 a 15% de adição do resíduo de pneu em substituição ao agregado miúdo, o concreto apresentou boa trabalhabilidade e resistência.

Quanto à ruptura no ensaio de compressão, a adição de borracha diminuiu a forma frágil em que ela acontece em concretos de alta resistência, assim como a ocorrência de *spalling*, mais conhecido como fragmentação. Avaliações termogravimétricas indicaram que o aumento da quantidade de borracha diminui a temperatura alcançada entre a parte exposta ao aquecimento e a parte exposta à temperatura ambiente (Hernandez-Olivares, Barluenga, 2003). Topçu (1995) observou também que adição de borracha no concreto apresenta propriedades requeridas para aplicações nas quais altas resistências não são necessárias, além da absorção de cargas dinâmicas e na resistência à propagação de trincas (Garrick, 2004).

## 3. METODOLOGIA

Este artigo iniciou com a revisão da literatura quanto às proporções de resíduos incorporados na produção dos blocos, além da investigação de normas técnicas para levantar quais ensaios seriam adotados para avaliação dos constituintes e da resistência mecânica do concreto.

Em seguida, os resíduos de borracha, proveniente da recauchutagem da rebarba do solado dos calçados, foram coletados na fábrica presente no interior do estado do Ceará, fábrica essa que é a única nesse ramo da cidade. A borracha coletada apresentava-se em três colorações diferentes (Figura 1).

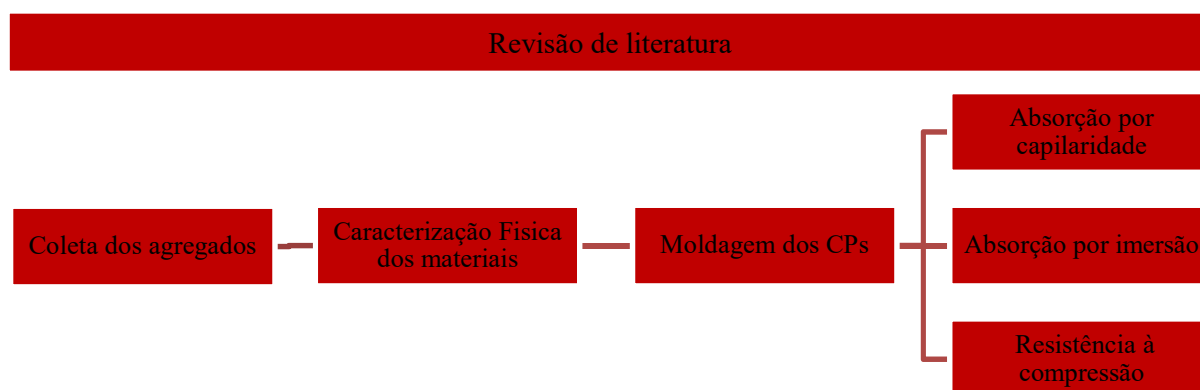


Figura 1: Resíduo de borracha moída.

O traço do concreto utilizado foi de 1: 2,5: 2; 0,5 (cimento, areia, brita, água/cimento). Com base em outros estudos, foram adotadas as substituições de areia por resíduo nas proporções de 10, 15 e 20%. Lintz *et al.* (2004), Mosca *et al.* (2005), Scussel *et al.* (2005) indicam que 15% da substituição de areia pelo resíduo originado da recauchutagem de pneus. Como o resíduo desta pesquisa possui origem diferente, a proporção adotada será uma maior e uma menor que a indicada como ideal nas citadas pesquisas.

Os agregados naturais (areia e brita) foram analisados para determinação da massa específica, granulometria, densidade real, equivalência de areia no caso da areia. Já no resíduo de borracha, considerado na pesquisa como agregados artificiais foram realizados a caracterização granulométrica, absorção e densidade.

Após análise dos constituintes, foram moldados 4 Corpos de Provas (CPs), sendo 2 prismáticos (20 × 10 × 6cm) e 2 cilíndricos (20 × 10cm) para cada formulação e cada idade de avaliação da resistência à compressão, totalizando 48 CPs. Para análise da absorção por imersão e por capilaridade foram moldados 2 CPs cilíndricos para cada condição. As amostras foram avaliadas ainda quanto ao aspecto visual e dimensional. Após a moldagem, os CPs ficaram na saturação até a idade em que foram ensaiados. A avaliação de resistência à compressão foi realizada aos 7, 14 e 28 dias. A Figura 2 detalha a metodologia desta pesquisa.



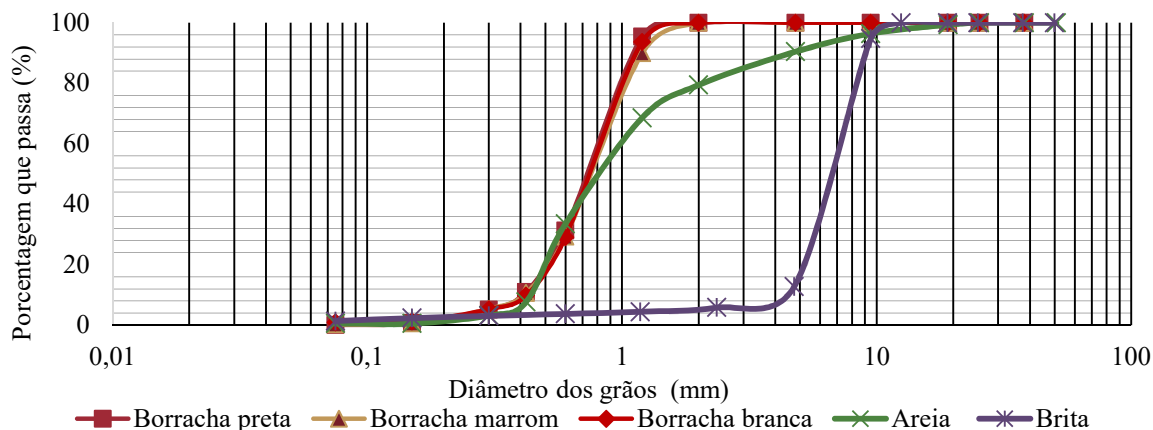
**Figura 2:** Metodologia em Fluxograma

### 3.1. Agregados naturais e artificiais

No agregado miúdo foram realizados os ensaios de densidade real dos solos, equivalência de areia e determinação granulométrica; no agregado graúdo, a densidade e a absorção; no resíduo da borracha os ensaios seguiram seguindo normas e adaptações da literatura utilizada para agregado miúdo. A Tabela 1 e a Figura 3 detalham esses resultados físicos.

**Tabela 1:** Características físicas dos agregados

Ensaio	Normas	Resultados
Densidade real do solo	DNER-ME 9364, 1994	2,631
Equivalência de areia (%)	DNER-ME 054, 1997	97,48
Absorção do solo (%)	DNER-ME 083, 1998	0,58
Densidade do agregado graúdo	DNER-ME 081, 1998	2,610
Absorção da borracha (%)		19,33
Massa específica borracha branca (kg/dm <sup>3</sup> )	Leite, 2001	0,808
Massa específica borracha marrom (kg/dm <sup>3</sup> )		0,780
Massa específica borracha preta (kg/dm <sup>3</sup> )		0,865



**Figura 3:** Composição granulométrica dos constituintes dos concretos

Após a caracterização, verificou-se que os resíduos das borrachas de diferentes colorações são muito semelhantes, estando 90% desses materiais entre 0 a 0,42mm. Da Figura 3 percebe-se que as curvas granulométricas se assemelham com a curva de uma areia. Com os resultados de absorção e de massa específica justifica-se a substituição desse resíduo pela areia.

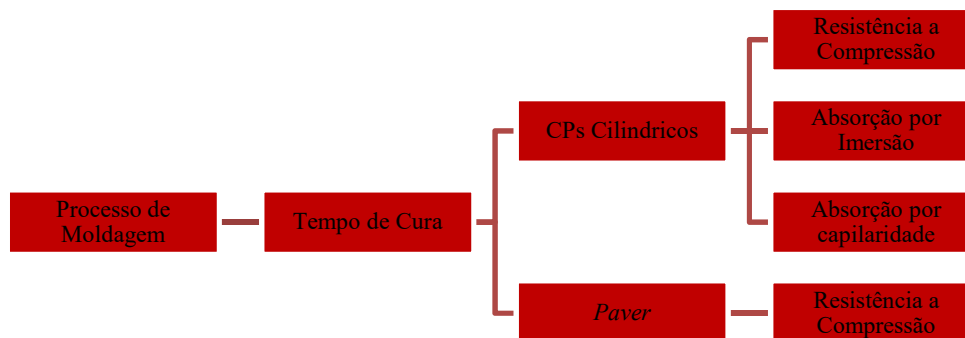
Quanto à areia, observa-se que cerca de 70% dela é média e uma pequena parcela de pedregulho. Já o agregado graúdo, trata-se de brita com tamanho máximo nominal de 9,5mm.

O resultado da massa específica da borracha mostra um valor menor que a massa específica obtida para os agregados, trazendo dessa forma o benefício de diminuição da massa do bloco. Ao analisar a absorção observa-se que o percentual da absorção da borracha é significativo maior quando comparado com a absorção da areia, o que resultará em um maior consumo de água no traço com substituição.

### 3.2. Moldagem dos corpos de provas

Os blocos foram moldados em dias variados, de acordo com o tempo de cura em que seriam realizados os ensaios. No primeiro dia de produção foi realizado o *Slump Test* para se verificar a trabalhabilidade do concreto e foi observado que conforme era adicionada a borracha o consumo de água aumentava em cerca de 10 % a mais tomando o anterior como base, levando a crer que a borracha possui uma maior absorção de água do que a areia, tal desconfiança foi confirmada após a realização do ensaio de absorção realizado nos CPs.

Após a moldagem, os CPs descansavam por 24 horas nas fôrmas, seguindo para a desforma e cura úmida até o dia dos ensaios. A figura 4 esquematiza as etapas metodológicas e a tabela 3 apresenta as normas adotadas para avaliações físicas e mecânicas dos concretos.



**Figura 4:** Fluxograma do processo de moldagem

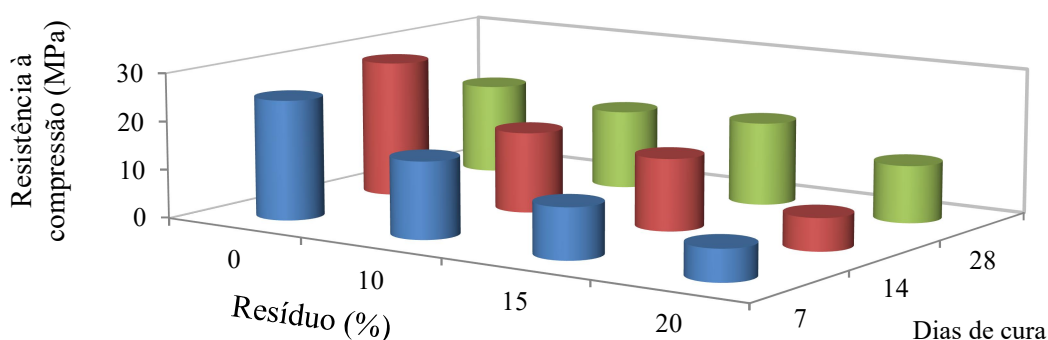
**Tabela 3: Ensaios nos Corpos de Prova**

Ensaio	NBR
Compressão de CPs cilíndricos	5937, 2007
Absorção de água e massa específica	9778, 2005
Absorção de água por capilaridade	9779, 2012
Peças de concreto para pavimentação – especificação e método de ensaio	9781, 2013

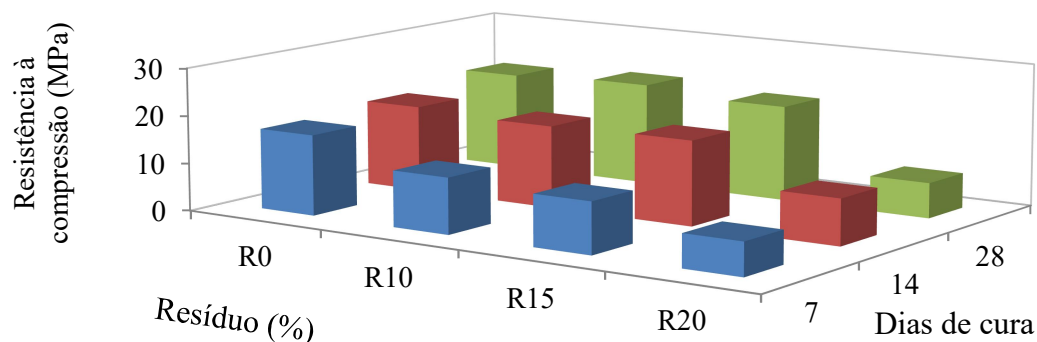
#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

##### 4.1. Resistência à Compressão Simples (RCS)

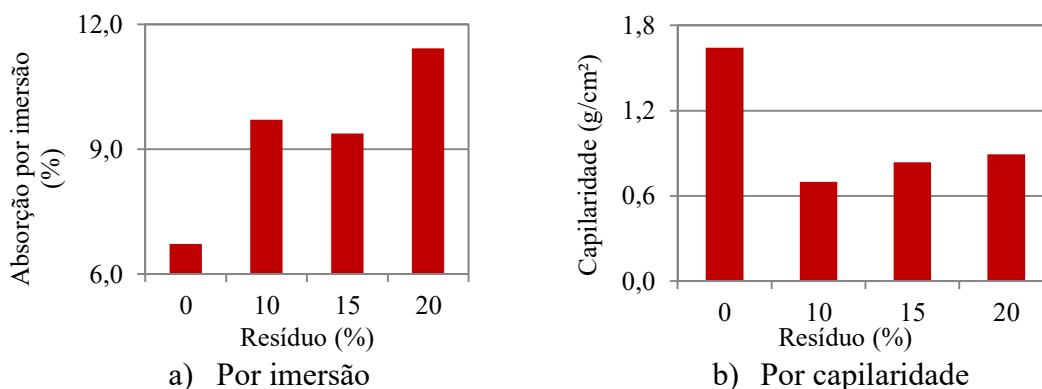
A partir do ensaio de RCS realizados nos corpos de prova cilíndricos e nos *paver*, que apresentavam percentuais de substituições por borracha mostraram uma diminuição da resistência característica. Para tanto, essa diminuição já era esperada, de acordo com a literatura e conforme a figura 4 e 5.



**Figura 4: Resistência à compressão - CPs cilíndricos**



**Figura 5: Resistência à compressão - pavers**



**Figura 6: Avaliações de absorção**

A partir dos dados apresentados é possível algumas constatações:

- quanto à variabilidade da resistência à compressão, o traço referência apresentou variação em torno de 5% e, nos traços com incorporação do resíduo de borracha essa variação aumentou com o aumento da incorporação de resíduo;
- quanto à absorção por imersão, pode-se inferir que o aumento do percentual de borracha ocasionou o aumento da absorção, corroborado pelo aumento de água no traço com o incremento de borracha incorporado;
- quanto ao ensaio de absorção por capilaridade, percebeu-se que a adição da borracha provocou uma diminuição da absorção;
- visualmente as substituições não provocou danos na superfície dos blocos, durante as pesagens dos corpos de provas com e sem resíduos comprovou-se que os CPs modificados tinham uma massa menor que os referências, Fattuhi e Clark (1996) afirmam que essa diminuição de massa gera melhor manuseio e transporte e que na produção dos traços haverá um menor desgaste da betoneira.

## 5. CONCLUSÕES

De acordo com NBR 9781, a resistência requerida para a pavimentação de tráfego leve deve ser igual ou superior a 35MPa. Nesta pesquisa, o aumento de borracha provoca queda na resistência. A substituição de areia pelo resíduo da borracha não é indicada para esse tipo de tráfego, mas apresenta-se como solução a implantação dos blocos com resíduos de borracha em passeios públicos, calçadas, ciclovias e lugares que não necessitam de uma resistência superior as 17MPa, valor esse que foi a média de resistência encontrada na substituição de 15%. A presente pesquisa apresentou uma proposta de destinação de resíduos gerados pela fábrica presente na cidade de Morada Nova (CE), dessa forma diminuindo os agregados naturais necessários para a produção de blocos para pavimentação intertravada, constatando que a substituição trará benefícios aos blocos sem causar danos ao meio ambiente. Dessa maneira, busca-se despertar o interesse para o estudo de outros resíduos e outros materiais possíveis para emprego em peças pré-moldadas e o seu uso em pavimentos indicados ao tráfego de veículos leves.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao IFCE – *Campus* Morada Nova por disponibilizar o Laboratório de Mecânica dos Solos e pela disposição em contribuir de diferentes formas para a realização desta pesquisa e a UFC por disponibilizar equipamentos para os diversos ensaios. Agradecem também ao PROINFRA-IFCE pelo financiamento da pesquisa.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 5937: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro. 2007.
- ABNT. NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT. NBR 9778: Argamassa e Concreto Endurecido - Determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro. 2005.
- ABNT. NBR 9779: Argamassa e Concreto Endurecido – Determinação de absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro. 2012.
- ABNT. NBR 9781: Peças de Concreto para Pavimentação – Especificação e método de ensaio. Rio de Janeiro. 2013.
- ABNT. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2007.
- ABNT. NBR 7923: Agregados – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro. 2007.

- BEZERRA, A. J. V. Concretos com substituição parcial do agregado natural por resíduos de EVA – Influência em propriedades físicas, mecânicas, macroestruturais e de durabilidade. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife/ PE, 2014.
- DNER ME - 054/97: Agregados - Equivalência de areia. Rio de Janeiro. 1997.
- DNER ME - 080/94: Solos – Análise Granulométrica por peneiramento. Rio de Janeiro, 1994.
- DNER ME - 081/98: Agregados determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro. 1998.
- DNER ME – 083/98 : Agregados - Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 1994.
- DNER ME - 9364/94: Solos - Densidade real de solos. Rio de Janeiro. 1994.
- FATTUHI, N.I.; CLARK, L. A. Cement – based materials containing shredded scrap truck tyre rubber. *Construction and Building Materials*. 1996, v.10, nº 4, 1996.
- FIORITI, C. F. Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduo de pneus como material alternativo. Tese – Universidade de São Paulo, 2007.
- FIORITI, C. F.; AKASAKI, J. L. Fabricação de blocos estruturais de concreto com resíduos de borracha de pneu. Elsevier, v. 4. n. 2, 2004.
- GARRICK, G. Analysis of waste tire modified concrete. Graduate Student Conference, 2004.
- HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; BARLUENGA, G. Fire Performance of Recycled Rubber-Filled High-Strength Concrete. Elsevier, v. 34. n.1, 2003.
- JOHN, V.M. Reciclagem de resíduo na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. Tese – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.
- LEITE, M. B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- MOSCA, A. C. Influência da Utilização da Borracha Vulcanizada nas Propriedades Mecânicas do Concreto. Congresso Brasileiro de Concreto, Recife, 2005.
- RABELO, E. A.. Investigação do resíduo da borracha da indústria calçadista para aplicação em pavimentos. 2019.
- SANTOS, A. C. Avaliação do Comportamento do Concreto com Adição de Borracha Obtida a Partir da Reciclagem de Pneus com Aplicação em Placas Pré-moldadas. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Alagoas, Maceió/AL, 2005.
- TOPÇU, I. B. The properties of rubberized concretes. Elsevier, vol. 25, ed. 2, 1995.
- VGRESÍDUOS – Reciclagem: formas de utilização do resíduo como matéria prima. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/reciclagem-formas-de-utilizacao-do-residuo-como-materia-prima/> acesso em: 26 de julho de 2019.
- WIEBBELLING, P.O. G. Pavimento com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na Univates. Monografia - Curso de Engenharia Civil – UNIVATES, 2015.