

**ESTUDO DO DESEMPENHO MECÂNICO DO CONCRETO DE CIMENTO
PORTLAND COM SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO AREIA POR
BORRACHA DA RECAUCHUTAGEM DE PNEUS***Maria Rayanne Oliveira de Araújo Gonçalves**rayaniaraujo@hotmail.com**Saul Barbosa Guedes**saulbguedes@yahoo.com.br**Danielle Leal Barros Gomes**danihlbg@gmail.com**Túlio Henrique Gomes**tulio_henrique_g@hotmail.com***Resumo**

O setor construtivo é hoje, destaque no desenvolvimento sustentável do ambiente construído, e na propagação de novas tecnologias para implementação de materiais alternativos na construção. Responsável pelo consumo de 40% dos materiais naturais, a engenharia civil tem pautado sua evolução nas relações ambientais de redução do consumo de bens naturais e do volume de resíduos gerados, além de absorver no próprio setor da construção os resíduos, proporcionando a sustentabilidade ambiental, econômica e social. Paralelo a esse fenômeno, empresas investem esforços em pesquisas para o uso da borracha de pneus como material alternativo, devido os impactos negativos causados pela disposição incorreta desses resíduos e pelo beneficiamento que pode trazer aos compósitos mediante suas propriedades. Deste modo, o uso da borracha em concretos, busca alinhar duas demandas em favor de um único resultado, constatado por, estudar as propriedades mecânicas do concreto ao incorporar a borracha oriunda da recauchutagem de pneus em alternativa à substituição do agregado miúdo, areia, para produção de pavers. O planejamento experimental desenvolveu-se nas etapas de: beneficiamento da borracha de recauchutagem de pneus, caracterização das matérias primas, produção e ensaio dos concretos de referência e com substituição da areia por borracha nos teores de 0,25%, 0,50%, 0,75% e 1,0% e caracterização física e mecânica dos concretos. Obtendo resultados e comparando-se o concreto de referência com o concreto com substituição, quanto maior o teor de borracha substituído, mais significantes foram as reduções nas propriedades do concreto, como resistência à compressão simples e maiores foram os índices de vazios e teor de absorção de água. Os traços desenvolvidos para 0,25% e 0,50% de substituição obtiveram absorção inferior a 7% e resistência superiores a 35 MPa, enquadrando-se na exigência da ABNT NBR 9781/2003 para produção de concreto para pavers com indicação de tráfego para pedestres, veículos leves e comerciais de linha.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Borracha de Pneus, Concreto, Material Alternativo

Introdução

No Brasil, à medida que a população urbana progrediu, ampliou-se também a geração e descarte de resíduos sólidos no país. Apesar dos quase 20 anos de vigor da resolução 258/99, a política para resíduos sólidos industriais, categoria da qual a borracha de pneus inservíveis faz parte, é bastante frágil, pois apesar da obrigatoriedade de fabricantes e importadoras dar uma destinação ambientalmente correta aos resíduos, a mesma resolução não exige uma logística de descarte economicamente viável e o incentivo à reciclagem é insuficiente (NOHARA, 2005).

Por outro lado, quando a gestão de resíduos sólidos é desenvolvida a partir de uma

logística que visa a sustentabilidade, a reciclagem dos detritos se torna um grande potencial, uma vez que, o processo de reaproveitamento visa a redução do consumo e da geração dos detritos, além de fornecer uma destinação ambientalmente correta e que agrega valor a materiais antes apresentados como inservíveis durante sua vida útil, devido à inexistência de uma logística reversa (SANTOS, 2007).

Dentre os materiais com alta capacidade de reaproveitamento e que ocasionam alto impacto no desenvolvimento sustentável, está a borracha dos pneumáticos oriunda de pneus inservíveis e que em sua maioria já passou por processos de beneficiamento, entre eles a recauchutagem, resultando em um elemento pulverizado sem valor econômico e/ou mecânico quando utilizado isolado (NOHARA, 2005).

De forma geral, no Brasil a reciclagem é o segundo destino ambientalmente correto mais empregado para os pneus inservíveis, compreendendo uma taxa de (29,91%) de material que é responsável por produzir industrialmente borracha moída com diferentes granulações para posterior aproveitamento (ABRAMOVAY, 2013).

Sabendo que os pneus inservíveis não podem voltar a cadeia produtiva, um modo de minimizar os impactos ambientais gerados pelos mesmos é, como citado anteriormente, através da logística reversa. Onde o mais adequado é fazer com que a borracha dos pneus inservíveis volte como material constituinte do concreto para pavimento intertravado – pavers.

Partindo desse contexto, a utilização dos resíduos sólidos da borracha em substituição parcial do agregado miúdo areia, configura uma necessidade real de alocar os subprodutos inservíveis do pneu no pavimento intertravado de concreto, a serem utilizados em obras de engenharia no Brasil como alternativa ecológica, sustentável e economicamente viável.

Materiais e Métodos

A metodologia utilizada para este trabalho foi dividida em três etapas: a) Caracterização das matérias-primas b) Produção e ensaio do concreto com dosagem de referência e do concreto com substituição do agregado e c) Caracterização física e mecânica dos concretos.

A caracterização dos materiais fez-se a partir das normas NBR 11579 para determinação da finura do Cimento Portland, a NBR NM 248 determinou a composição granulométrica, para determinação da massa específica aparente do agregado miúdo e graúdo empregou-se o procedimento descrito nas normas NBR NM 52 e NBR NM 53, respectivamente.

Para a dosagem do concreto de referência e do concreto com substituição da areia pelo resíduo da borracha de pneus foi realizada a moldagem de três corpos de prova cilíndricos com dimensões ($\phi = 10$ cm e $h = 20$ cm), para o ensaio de resistência à compressão simples utilizou-se o procedimento descrito na ABNT NBR 5739/2018 e para o ensaio de absorção de água por imersão a metodologia apresentada na ABNT NBR 9778/2009.

Cimento

Como material aglomerante utilizou-se o cimento Portland CP V - ARI MAX (Cimento de Alta Resistência Inicial), com módulo de finura de 2,63%.

Areia

O agregado miúdo areia componente do concreto em estudo, foi obtido a partir do depósito de leito do Rio Piancó localizado na cidade de Pombal – PB.

Brita 0

A brita 0 utilizada como agregado graúdo foi proveniente do Britador Caicó, o agregado tem sua origem de rochas Gnaisse e sua classificação consiste em um agregado

gráudo, cujo grãos passam pela peneira de abertura 9,5mm e ficam retidas em quase sua totalidade na peneira com abertura 4,5mm.

Água

A água utilizada na pesquisa é oriunda do sistema de abastecimento de água da cidade de Pombal - PB e fornecida pela CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba).

Os materiais empregados são especificados abaixo e mostrados na Figura 4.

Figura 4 - Materiais empregados na pesquisa



Fonte: Autor, 2019.

Resultados

A partir dos parâmetros obtidos referentes aos agregados e considerando a resistência à compressão simples necessária para pavers para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, apresenta-se o traço obtido conforme o método ABCP (Tabela 4).

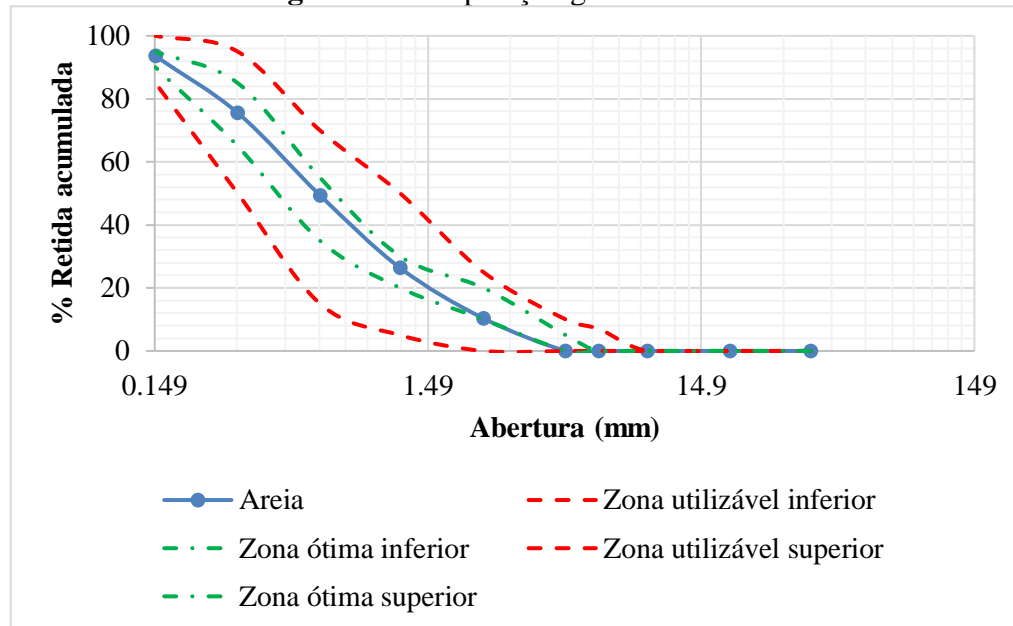
Tabela 4 – Traço Adotado para o Concreto de Referência

Materiais	Traço (Proporção em Massa)
Cimento	1
Areia	1,6
Brita 0	2,03
Relação a/c	0,5

Fonte: Autor, 2019

A **composição granulométrica** é a análise da distribuição das partículas dos materiais granulares de acordo com suas dimensões, seguindo a metodologia presente na ABNT NBR NM 248/2003, para a areia utilizada no estudo, obteve-se a composição granulométrica presente na Figura 1.

Figura 1 - Composição granulométrica da areia

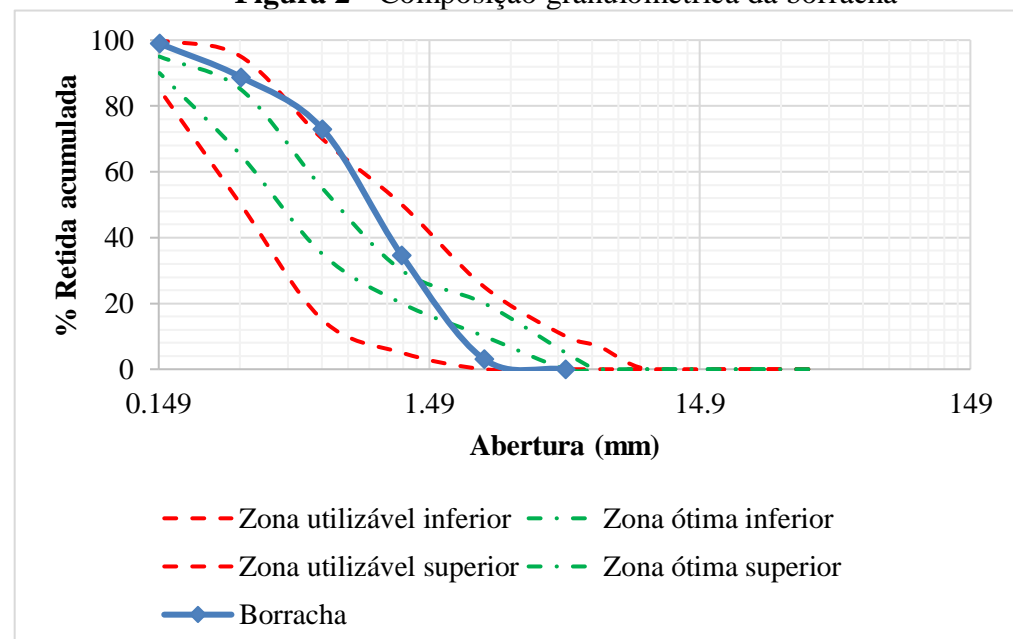


Fonte: Autor, 2019.

Borracha

Os resíduos inservíveis de borracha foram adquiridos do processo de recauchutagem realizado na empresa que resulta em um material composto por frações granulométricas variáveis e geometria fibrilar e granular, apresentando sua distribuição granulométrica na Figura 2.

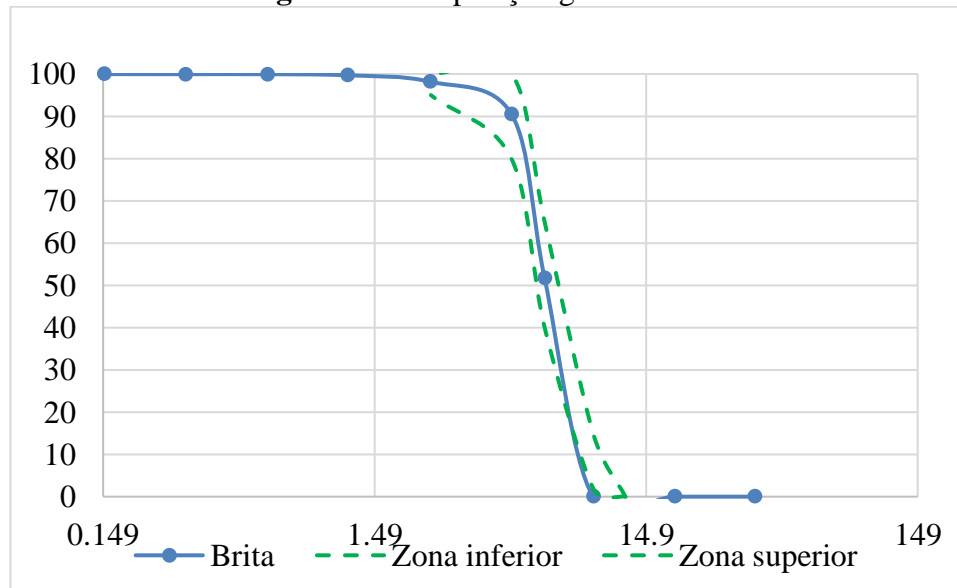
Figura 2 - Composição granulométrica da borracha



Fonte: Autor, 2019.

Ainda de acordo com NM 248/2003, a brita 0 ensaiada apresentou a configuração granulométrica estabelecida na Figura 3.

Figura 3 - Composição granulométrica da brita 0

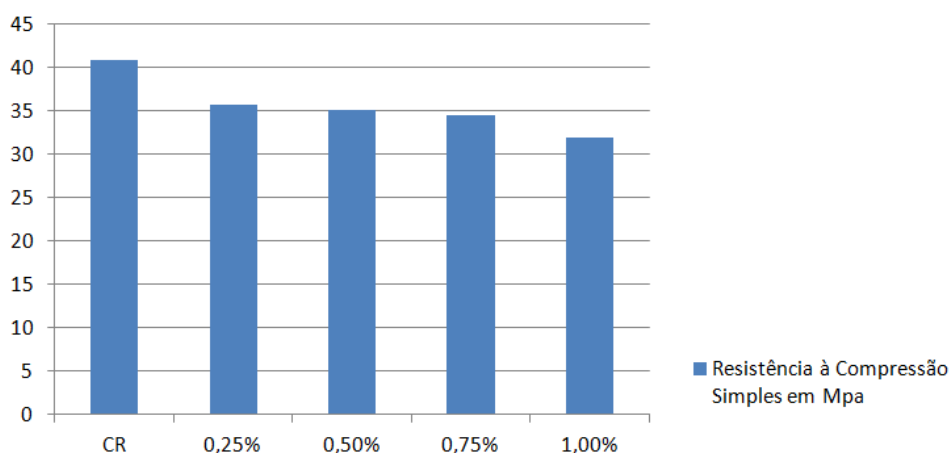


Fonte: Autor, 2019.

Em concordância com a ABNT NBR 5739/2018 - Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos submeteu-se 15 corpos de prova cilíndricos ao ensaio de compressão simples, compreendendo 03 corpos de prova para o concreto de referência (CR) e 03 corpos de prova para cada teor de substituição de areia por borracha de recauchutagem de pneus (BRP), a saber, 0,25%, 0,50%, 0,75% e 1,0% de substituição.

Os resultados obtidos do ensaio de resistência à compressão simples apresentam-se no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Resultados da Resistência à Compressão do Concreto aos 07 dias de Cura
Resistência à Compressão Simples em Mpa



Fonte: Autor, 2019.

Pode-se notar que excetuando o fato da diminuição de resistência, o concreto A redução da resistência à compressão axial nos concretos com substituição da areia pelo resíduo de borracha relaciona-se ao fato da borracha ser o agregado com menor capacidade de carga dentre os demais componentes, simultaneamente a capacidade de gerar maior deformação na superfície lateral da amostra, ocasionando a ruptura do concreto (FATTUHI et al, 1996 apud MARQUES, TRIGO, AKASAKI, 2004).

O aparecimento de fissuras visualmente constatado deu-se a partir da base e topo, propagando-se progressivamente à medida que se atingia a tensão de ruptura, após rompimento constatou-se que interiormente a ruptura ocorreu junto às ligações do agregado miúdo borracha para com os agregados graúdos e a pasta de cimento, confirmando as proposições da frágil zona de interface originada entre os materiais componentes do concreto convencional e o substituto, borracha.

O concreto desenvolvido ainda obteve em seus teores de 0,25% e 0,5% de substituição, além do traço de referência, traço com resistência à compressão simples de 34 MPa aos 07 dias de cura, atendendo as exigências para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha, conforme recomendado pela ABNT NBR 9781/2013 – Peças de Concreto para Pavimentação: Especificações e Métodos de Ensaio.

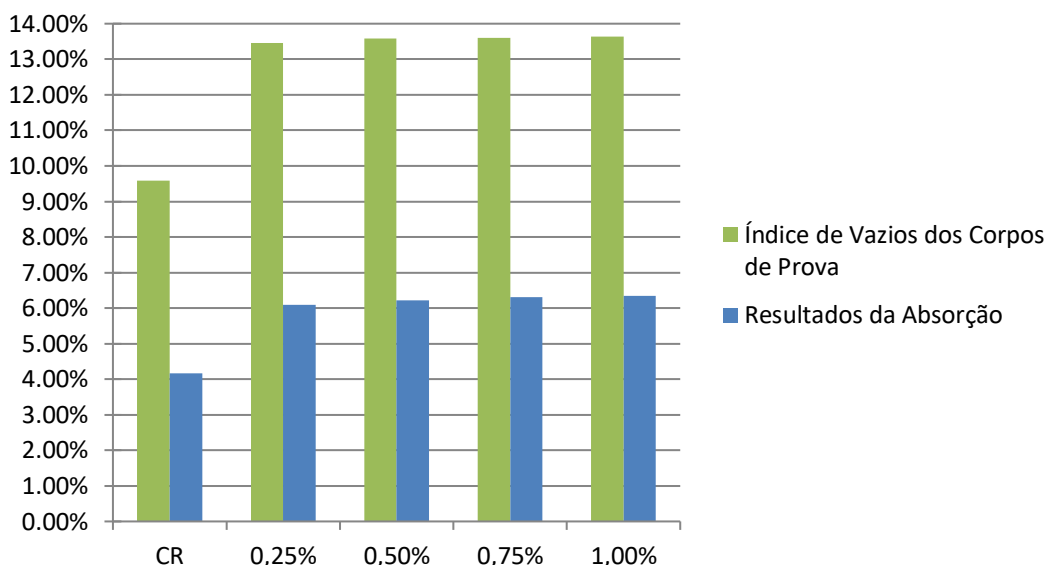
Analisando os resultados do ensaio de compressão simples em relação ao concreto com substituição e o concreto de referência, constatou-se que há uma tendência à redução da resistência à compressão conforme há o aumento no teor de resíduo de borracha substituído no traço, a diminuição de resistência mais considerável se dá no traço com substituição de 1,0% da areia por borracha de recauchutagem de pneus, havendo uma queda de 21% no valor da resistência

Os resultados obtidos conforme execução da NBR 9778/2009 para os ensaios de absorção e índice de vazios, dos 12 corpos de prova cilíndricos com concreto de referência e com substituição por borracha, apresentam-se na Tabela 6 e Gráfico 2.

Tabela 6 – Resultados da Absorção e Índice de Vazios dos Corpos de Prova

Percentual de substituição	CR	0,25%	0,50%	0,75%	1,00%
Resultados da Absorção	4,16%	6,10%	6,21%	6,30%	6,35%
Índice de Vazios dos Corpos de Prova	9,58%	13,46%	13,59%	13,61%	13,64%

Gráfico 2 – Resultados da Absorção e Índice de Vazios dos Corpos de Prova



Fonte: Autor, 2019.

A absorção de água do concreto foi significativamente influenciada pela substituição da areia pela borracha.

No entanto, deve-se salientar que segundo Neville (1997, p.486) a absorção de um concreto não pode inferir uma classificação qualitativa, mas ressalva que concretos com bons atributos possuem índice de absorção inferior a 10%. E ainda, conforme recomenda ABNT NBR 9781/2013 – Peças de Concreto para Pavimentação: Especificações e Métodos de Ensaio o concreto deve possuir valor de absorção abaixo dos 6%.

A absorção de água nos concretos foi instigada a um maior valor devido a incorporação do resíduo de borracha. Essa influência deve-se ao fato da borracha possuir baixa densidade em comparativo com o agregado areia. Ocasionalmente maior dificuldade no adensamento da mistura, resultando no aumento da porosidade dos corpos de prova.

A tendência de redução da massa específica do concreto consoante aumento da incorporação do resíduo de borracha deve-se ao fato da massa específica do resíduo substituído ser inferior à massa específica da areia, e ainda, ao fator determinante ocasionado pelo adensamento, que ocasiona em um maior volume de vazios, provocando no preenchimento por água dos vazios existentes e menor trabalhabilidade do compósito.

Considerações finais

A partir, do estudo do desempenho mecânico dos concretos produzidos com substituições de 0,25%, 0,50%, 0,75% e 1,0% de areia por borracha, em comparativo ao concreto de referência produzido, podem-se inferir resistências à compressão simples e absorção a qual esses compósitos são considerados aptos para utilização.

À vista disso, a borracha proveniente da reciclagem de pneus, se torna um material de uso viável como substituto do material areia tradicionalmente utilizado, quando incorporada ao concreto nos teores de 0,25% e 0,50% de substituição do agregado miúdo por borracha de recauchutagem.

Os resultados da pesquisa demonstram que para resistência do concreto nos teores de

substituição acima denotados, ainda estabelecem-se dentro dos padrões recomendados pela ABNT NBR 9781/2013, de 35 MPa para tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha.

Quanto à absorção, corpos de prova apresentaram maior número de vazios e capacidade de absorção tal quais foram maiores as incorporações de resíduos. Todavia, os resultados apresentaram valores próximos à absorção de 6%, e inferior aos 7% considerados como valores individuais exigidos em norma sendo considerados, portanto, resultados satisfatórios.

Desta maneira, considera-se viável o uso dos resíduos de borracha para aplicação em concreto para produção de pisos intertravado e reforça-se a utilização destes, como agregados miúdos de modo a reduzir seu descarte incorreto, reduzir o passivo ambiental e colaborar com a indústria dos materiais da construção civil, diminuindo a retirada de materiais não renováveis da natureza.

Referências

- _____. **NBR 11579:** Cimento Portland – Determinação da Finura por Meio da Peneira 75 μm (nº 200). 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013, 4p.
- _____. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 6p.
- _____. **NBR 7211:** Agregados para Concreto – Especificação. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 9p.
- _____. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da Massa Unitária e do Volume de Vazios. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2006, 8p.
- _____. **NBR NM 52:** Agregado Miúdo – Determinação da Massa Específica e Massa Específica Aparente. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 6p.
- _____. **NBR NM 53:** Agregado Graúdo – Determinação da Massa Específica, Massa Específica Aparente e Absorção de Água. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 8p.
- _____. **NBR NM 30:** Agregado Miúdo – Determinação da Absorção de Água. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2001, 3p.
- _____. **NBR 5738:** Concreto – Procedimento para Moldagem e Cura de Corpos de Prova. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015, 9p.
- _____. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018, 9p.
- _____. **NBR 9778:** Argamassa e Concretos Endurecidos – Determinação da Absorção de Água por Imersão – Índice de Vazios e Massa Específica. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009, 4p.
- _____. **NBR 16697:** Cimento Portland - Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018, 9p.
- ABRAMOVAY, R. SPERANZA, J. S. PETITGAND, C. *Lixo zero: gestão de resíduos sólidos para uma sociedade mais próspera* – São Paulo: Planeta sustentável: Instituto Ethos, 2013.
- NOHARA J. J. [et. al.] GS-40 – *Resíduos sólidos: passivo ambiental*. 2006. THESIS, São Paulo, ano I, v.3, p. 21-57, 2º Semestre, 2005.
- 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*. 116 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.
- SANTOS, S. M. *Gerenciamento do destino final dos resíduos sólidos municipais na região metropolitana do Recife: Histórico e Proposições*. 2007. 254f. Tese de Doutorado –