

# **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COLANTES COM SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADO MIÚDO POR BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS**

Gustavo Santos Oliveira – gus.oliveira.santos@gmail.com

Renato Meneghetti Peres (Orientador) – renato.peres@mackenzie.br

## **RESUMO**

Diversas ações voltadas a reciclagem de materiais vêm sendo desenvolvidas para mitigação dos impactos causados por uma sociedade cada vez mais urbana. Neste sentido, a utilização de resíduos de pneus surge como um desafio para toda cadeia, frente as legislações como a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Deste modo, associado ao processo de urbanização, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da substituição de agregado miúdo por resíduos de pneu em argamassas colantes. A avaliação considerou os requisitos de norma e algumas propriedades de caracterização das argamassas. Foram avaliadas cinco composições de argamassa, sendo uma argamassa padrão, e as demais com substituição de 10, 20, 30 e 40%. As matérias primas foram misturadas manualmente no estado a seco, e sua adição com água seguiu os procedimentos normativos. A substituição por borracha provocou redução das propriedades mecânicas, da trabalhabilidade, da densidade e da massa específica, além do aumento na absorção de água e índice de vazios. A borracha presente nas argamassas colantes dificulta a passagem do ultrassom, sendo uma particularidade a ser estudada para aplicações de conforto acústico. Mesmo com a redução nas propriedades mecânicas, todas as argamassas estudadas se apresentaram em conformidade com a norma para argamassas colantes industrializadas.

Palavras-chave: Argamassa Colante, resíduo de borracha, resíduo de pneu.

# **EVALUATION OF PERFORMANCE OF ADHESIVES MORTARS WITH REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE BY RUBBER OF WASTE TIRE**

## **ABSTRACT**

Several actions aimed at recycling materials are being developed to mitigate the impacts caused by an increasingly urban society. In this sense, the use of waste tires appears as a challenge for the entire chain, in face of legislation such as the National Solid Waste Policy. Thus, associated with the urbanization process, this work aims to evaluate the effect of replacement of fine aggregate by tire residues in adhesive mortars. The evaluation considered the standard requirements and some characterization properties of adhesive mortars. Five mortar compositions were evaluated, one standard, and the others with replacement of 10, 20, 30 and 40%. The raw materials were mixed by hand in the dry state, and their addition with water followed the normative procedures. Replacement with rubber has reduced mechanical properties, workability, density and specific mass, as well as increased water absorption and voids content. The rubber present in the adhesive mortars makes it difficult to pass the ultrasound, being a particularity to be studied for acoustic comfort applications. Even with the reduction in mechanical properties, all studied adhesive mortars presented themselves in accordance with the standard for industrialized adhesive mortars.

Keywords: adhesive mortars. waste rubber. waste tire

## **1 INTRODUÇÃO**

Globalmente o processo de urbanização no mundo ocasionou diversos impactos ao meio ambiente, e o avanço da população para as áreas urbanas provocou mudanças na cultura das populações (GÜNTHER, 2008 e GUIMARÃES, 2001). Uma destas mudanças culturais se deu na utilização de veículos automotores, que por sua vez apresentaram crescimento superior a população nos últimos anos (RUBIM; LEITÃO, 2013 E XIMENES et al., 2008). Além do impacto que os automóveis causam em função

do combustível utilizado, o descarte inadequado ao fim de sua vida útil, ou ainda o descarte de componentes dos veículos, como os pneus, pode causar danos ainda maiores ao meio ambiente (FLORIANI; FURLANETTO; SEHNEM, 2016). Devido à grande quantidade de pneus descartados no Brasil e no mundo, a destinação inadequada de pneus se constituiu num problema ambiental, em função da sua durabilidade e da sua forma (CANOVA; BERGAMASCO; ANGELIS NETO, 2007).

A publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, e as resoluções do CONAMA nº 23/1996, nº 235/1998, nº 258/1999 e a mais recente nº416/2009, demonstram a preocupação dos órgãos governamentais na busca por uma tratativa adequada aos pneus, uma vez que após o fim de sua vida útil, tornam-se inservíveis causando danos ao meio ambiente e a saúde pública (ABRELPE, 2017, LAGARINHOS; TENÓRIO, 2012, MMA, 2019 e NOHARA et al, 2005).

O desenvolvimento de novas aplicações para os resíduos de pneus se faz necessária, considerando os aspectos de crescimento urbano, e conseqüente aumento da quantidade de pneus utilizados (GÜNTHER, 2008). Os materiais de construção alternativos surgem como uma oportunidade, na medida em que a construção civil de modo geral busca materiais mais sustentáveis e com menor impacto ambiental (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001 e MENDES, 2016).

A utilização de resíduos de pneus em matrizes cimentícias se iniciou na década de 1990, e até então é abordada para otimizar as propriedades e aplicações em concretos, asfaltos e argamassas de uso comum. (CANOVA; BERGAMASCO; ANGELIS NETO, 2007; ELDIN, SENOUCI, 1993; ALI et al., 1993, SEGRE 1999).

Deste modo, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da substituição de agregado natural por resíduos provenientes da trituração de pneus inservíveis, em argamassas para assentamento de placas cerâmicas, avaliando as propriedades do agente de substituição e do produto final, determinando a viabilidade técnica do produto de acordo com as normas vigentes.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ARGAMASSAS COLANTES

As argamassas colantes industrializadas são materiais cimentícios destinados a colagem de revestimento cerâmicos nos mais diversos substratos, e apresentam em sua composição básica cimento, que participam efetivamente da resistência mecânica da argamassa, agregados naturais e aditivos, que no geral são utilizados para promoção da retenção de água e aumento da aderência e flexibilidade (CARASEK, 2007 e BAUER, 2016).

A utilização de matérias primas mais sustentáveis e a geração de produtos com menores custos vem se consolidando como uma prática comum a indústria da construção civil nos últimos anos. Deste modo, a utilização de agregados alternativos, como os provenientes de resíduos sólidos, estimula a busca por novas aplicações, além de reduzirem o impacto ambiental ocasionado pela destinação inadequada de resíduos e da extração de recursos naturais (OLIVEIRA et al., 2006 e MENDES, 2016, ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001 e BRASILEIRO; MATOS, 2015).

### 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS E OS PNEUS INSERVÍVEIS

As diversas resoluções publicadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a publicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em 2010, que implementou a obrigatoriedade de logística reversa para alguns resíduos, órgãos governamentais, indústria e demais *stakeholders* vem atuando para a minimização dos impactos ambientais ocasionados pelo descarte inadequado pelos resíduos sólidos. Um dos resíduos que apresenta obrigatoriedade de logística reversa, são os pneus inservíveis. (CORDEIRO et al., 2019, MMA, 2019, LAGARINHOS; TENÓRIO, 2012).

Apesar de apresentar inúmeras utilizações, 47% dos resíduos de pneu destinados no Brasil são utilizados como combustíveis alternativos em fornos de cimenteiras (IBAMA, 2018). Dentre as destinações possíveis aos resíduos de pneu, encontram-se a utilização como agregado em matrizes cimentícias. Além da possibilidade de redução de custo, a melhoria em algumas propriedades, como a flexibilidade, resultou em diversas

publicações acadêmicas a respeito deste agregado em concretos e pavimentos asfálticos (CANOVA; BERGAMASCO; ANGELIS NETO, 2007 e ODA, 2000).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho tem como metodologia a análise comparativa de diversas propriedades das argamassas colantes, em razão do percentual de substituição de agregado natural por resíduos de pneus inservíveis. O trabalho realizado em conjunto a Votorantim Cimentos, especificamente a unidade de Barueri-SP, foi desenvolvido nos laboratórios da Universidade Presbiteriana Mackenzie e nas dependências da unidade fabril da Votorantim Cimentos.

As matérias primas básicas para a produção das argamassas colantes, como o cimento, areia e aditivos foram fornecidos pela Votorantim Cimentos. Os resíduos de pneus foram fornecidos pela UTEP Recicladora, localizada na cidade de Guarulhos-SP.

O cimento utilizado foi o tipo CP V – ARI, que é classificado como um cimento de alta resistência inicial. A areia utilizada para composição da argamassa tem como origem a cidade de Leme – SP, sendo oriunda do processo de mineração de cava, e apresenta granulometria inferior a 0,6 mm. Foram utilizados três tipos de aditivos, sendo um éter de celulose, e um polímero redispersível, além de um modificador de resistência.

Os resíduos de borracha foram obtidos, e classificados em função do seu formato e da sua faixa granulométrica, formando três grupos de resíduos. O primeiro grupo é composto por partículas inferiores a 0,68mm, apresentando granulação milimétrica, e denominado como Borracha Pó. O segundo grupo, é composto por partículas entre 0,68 mm e 2,00 mm, de formato granulado e será denominado Borracha G3. Por fim, o terceiro grupo é constituído de partículas inferiores a 2,00 mm, com formato predominantemente fibrilar, sendo denominado Borracha RG35. Os resíduos de borracha incorporados seguiram uma distribuição de modo a utilizar os benefícios da granulometria de cada grupo, e reduzir a diferença na trabalhabilidade das argamassas em relação a argamassa base. Essa distribuição entre os grupos de borracha seguem o disposto na Tabela 1:

Tabela 1 - Granulometria e Composição do agente de substituição

<b>Tipo de Resíduo</b>	<b>Faixa Granulométrica</b>	<b>% Mix</b>
Borracha P6	< 0,68mm	81%
Borracha RG35	< 2,00 mm	14%
Borracha G3	0,68mm - 2,00mm	5%

A amostra base das argamassas teve uma composição básica de cimento, areia, compondo 100% da massa, e os aditivos que serão adicionados com base na massa total do composto. A introdução de resíduo de borracha se deu em substituição a areia. Foram constituídas 4 argamassas com resíduo de pneu inservível, com substituição de 10%, 20%, 30% e 40% do agregado natural pela borracha. Desta forma, obteve-se 5 composições de argamassas conforme apresentado na Tabela 2:

Tabela 2 - Composição das Amostras

<b>Constituinte</b>	<b>Composição Percentual</b>				
	<b>AB0</b>	<b>AB10</b>	<b>AB20</b>	<b>AB30</b>	<b>AB40</b>
<b>Nome Amostra</b>					
Cimento	38,0	38,0	38,0	38,0	38,0
Areia Natural	62,0	55,8	49,6	43,4	37,2
Borracha P6	0,0	5,0	10,0	15,1	20,1
Borracha RG35	0,0	0,9	1,7	2,6	3,5
Borracha G3	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2

Para composição de argamassa foram realizadas misturas com 10 kg (dez quilogramas). Para cada argamassa, os insumos foram pesados em um saco plástico, na seguinte sequência: cimento, areia, borracha (para as argamassas aplicáveis) e aditivos. Os componentes foram submetidos a mistura manual por um período de  $3 \pm 0,5$  minutos até que a argamassa se tornasse homogênea.

### 3.1 ENSAIOS NORMATIVOS

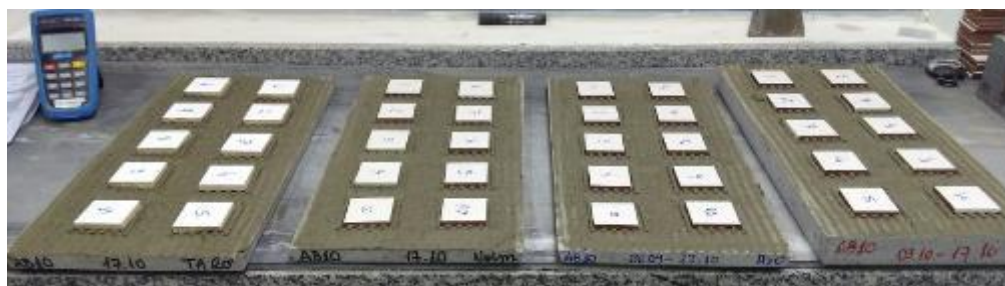
Para a execução dos ensaios normativos, ou seja, aqueles correspondentes a norma ABNT NBR 14081:2012, foi realizada a adição de água, que variou entre 24 e 26%, em

intervalos de 0,5% de água de mistura para que se obtivesse uma faixa de trabalhabilidade ideal.

### 3.1.1 Resistência de aderência à tração

Para os ensaios de resistência de aderência à tração foram moldados 4 substratos padrão para cada argamassa, sendo uma destinada para avaliação da resistência de atração em tempo em aberto, uma para cura normal, uma para cura submersa e uma para cura em estufa, totalizando 20 substratos. Em cada substrato, foram aplicadas 10 placas cerâmicas. A Figura 1, apresenta a preparação dos substratos padrão para cada tipo de cura.

Figura 1 – Preparação dos substratos padrão para cada tipo de cura



FONTE: AUTOR, 2019

Para a condição de cura em laboratório, as condições de temperatura e umidade foram mantidas por 28 dias. Para a condição de cura em estufa, as placas foram mantidas em condições padrão de laboratório por 14 dias. Passado este primeiro momento, as placas foram levadas a estufa em temperatura de  $70\pm 2$  ° C, onde permaneceram por mais 14 dias. Já na condição de cura em imersão de água (submersa), o substrato se manteve por 7 dias em condição de laboratório. Após este instante, o conjunto foi levado ao tanque de imersão em solução de água saturada com cal. A temperatura da solução esteve em  $23\pm 2$  ° C, e o conjunto permaneceu por 21 dias.

Para realização do arrancamento de todas as placas e curas, foi utilizado um dinamômetro digital da marca Proceq. A velocidade de arrancamento se deu entre 200 e 300 N/s, conforme procedimento normativo.

### **3.1.2 Deslizamento**

Para determinação do deslizamento, seguindo o procedimento normativo descrito em ABNT NBR 14081:2012 – Parte 5 – Determinação do deslizamento. Assim como para os ensaios de resistência à tração, foram moldadas as placas de substrato padrão com argamassa para cada amostra.

Foi utilizado um quadro articulado, e sobre o mesmo foi colocado um substrato padrão, seguindo as orientações descritas em norma. Foi realizada a marcação dos pontos de leitura, e após 2 minutos da aplicação da argamassa, foram colocadas 3 placas cerâmicas quadradas de 100 mm, e sobre os mesmos foram posicionadas massas padrão de 5kg por um período de 30 segundos. Foi então realizada a leitura com paquímetro entre a placa cerâmica e a régua metálica. Em seguida, o conjunto do substrato foi suavemente movimentado de modo a colocá-lo na posição vertical.

Após 20 minutos, o substrato com argamassa foi movimentado para posição horizontal. Posteriormente foi realizada nova medição com paquímetro entre a régua e a placa cerâmica.

## **3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO**

Além dos ensaios estabelecidos em norma para as argamassas colantes, foram desenvolvidos os seguintes ensaios com o objetivo de caracterizar e avaliar o impacto da adição de borracha nas argamassas colantes.

### **3.2.1 Granulometria**

A avaliação granulométrica foi realizada para os resíduos de borracha e para a areia (agregado natural), sendo realizado para uma faixa de peneiras que compreende as malhas de 1,40 mm, 1,18 mm, 0,60 mm, 0,30 mm, 0,15 mm, e 0,09 mm.

Inicialmente, foram pesados 100g de cada material, e submetidos ao peneirador vibratório ROTAP por um tempo de 5 minutos, com frequência de vibração de 60 rpm. Após o peneiramento, as massas retidas em cada peneira foram coletadas e pesadas em balança analítica.



### **3.2.2 Densidade de massa aparente e densidade no estado endurecido**

Para determinação da densidade de massa aparente, foi realizada a pesagem de um recipiente metálico com volume de 400 cm<sup>3</sup> e foi registrada sua massa. Posteriormente, as argamassas misturadas conforme procedimento foram adicionadas ao recipiente em 3 camadas até preenchimento total. A cada camada foi realizado golpes na argamassa de modo a eliminar a maior quantidade de vazios ou bolhas de ar ali presentes. Por fim, com auxílio da espátula foi realizado a retirada de excesso de argamassa no recipiente. Após isso, foi realizada nova pesagem, onde foi possível registrar a massa da argamassa no recipiente.

Para a determinação da densidade no estado endurecido foram utilizados os corpos de prova moldados para o ensaio de resistência a flexão, antes do ensaio destrutivo, coletando a sua massa em balança e registrando as suas dimensões com o auxílio de um paquímetro.

### **3.2.3 Massa Específica, índice de vazios e absorção de água**

A amostra foi levada a estufa em 105° C, onde permaneceu por 72 horas. As amostras foram retiradas e as suas massas secas foram registradas. Após este procedimento, as amostras foram imergidas em um béquer com água a temperatura de 23° C por um período de 72 horas. Logo em seguida, o béquer juntamente com as amostras foi levado a estufa por um período de 5 horas, com aquecimento progressivo até a temperatura de 110° C, quando a água passou a apresentar ebulição. Ao final do período de 5 horas, as amostras foram retiradas e resfriadas até uma temperatura de 24° C, na condição de medição do laboratório. As amostras então foram pesadas com auxílio de uma balança hidrostática, conforme figura 33, e a sua massa imersa então coletada. Após a pesagem, a amostra foi retirada e enxugada com auxílio de um pano úmido. Em seguida, a massa da amostra saturada foi coletada.

### **3.2.4 Retenção de água**

Para realização do ensaio de retenção de água, foram utilizados um funil de Buchner associado a uma bomba de vácuo, discos de papel de filtro com faixa branca, um soquete metálico, uma balança semianalítica, uma régua metálica e um cronômetro.

O funil de Buchner associado a uma bomba de vácuo foi ajustado para uma condição de sucção de 51 mmHg, registrado em um vacuômetro. Após este procedimento, foi posicionado o papel de filtro sobre o fundo do prato, e umedecido com água destilada.

O conjunto do Funil com o papel de filtro foi retirado e a massa do conjunto foi registrada. Logo depois, o prato foi preenchido com argamassa um pouco acima da borda. A argamassa, foi golpeada com auxílio de um soquete por 37 golpes ao longo da pasta.

Em seguida, o excesso de argamassa foi retirado e feita a limpeza das bordas do conjunto, para posterior pesagem e registro da massa. O conjunto foi então posicionado no equipamento de bomba de vácuo, onde permaneceu por 20 minutos.

Decorrido este período, o conjunto filtro, papel e argamassa foi retirado e realizada a coleta da massa do conjunto após sucção.

### **3.2.5 Tempo em Aberto Rápido (*Quick Open Time*)**

O método consiste na preparação de um substrato padrão, conforme NBR 14082:2012, parte 2, e após 5 minutos da formação dos cordões a primeira placa cerâmica, de dimensões 5cm x 5cm, deve ser colocada. Adicionalmente, é colocado sobre a placa cerâmica um peso padrão de 2,0 kg sobre a mesma por um período de 30 segundos. Após este tempo, é realizada a remoção da placa cerâmica colada, e verifica-se o cobrimento sobre a área do tarso da placa. Este procedimento se repete de 5 em 5 minutos até o tempo em aberto estendido conforme especificação da argamassa, mas pode ser aumentado para análises adicionais.

### **3.2.6 Resistência à Compressão**

Foram moldados um conjunto de 3 corpos de prova prismáticos para cada argamassa, que foram avaliados nas idades de 7, 14 e 28 dias.

Para cada moldagem foi utilizada um molde prismático medido 4x4x16 cm. A argamassa foi preparada conforme ABNT NBR 14081:2012 – Parte 2, e após a adição da argamassa o molde foi preso em uma mesa adensadora, onde foi submetido a duas séries de 30 quedas até o preenchimento total do molde. Cada corpo de prova foi primeiramente submetido ao ensaio de resistência a flexão que resulta em dois fragmentos da amostra. Posteriormente, estes dois fragmentos foram ensaiados para determinação da resistência a compressão. Por fim, uma das partes da amostra foi utilizada para determinação das propriedades físicas do material, como massa específica, absorção de água e índice de vazios.

Para avaliação da resistência a compressão, foi utilizado os procedimentos metodológicos previstos para as argamassas básicas, sendo regulamentado pela ABNT NBR 13279:2005.

Para realização do ensaio foi utilizado uma prensa hidráulica Toni Technik, com aplicação de uma carga de  $500 \pm 50$  N/s. Os resultados de resistência à compressão foram coletados diretamente no visor do equipamento em MPa.

### **3.2.7 Resistência à Flexão**

Para a realização do ensaio de resistência à flexão foi utilizada uma prensa hidráulica Toni Technik, com velocidade de decida de 50 N/s. O ensaio realizado sobre dois apoios, com a aplicação de carga central, sendo caracterizado com um ensaio de flexão em 3 pontos. Os corpos de prova foram avaliados nas idades de 7, 14 e 28 dias.

### **3.2.8 Ultrassom**

Para realização do ensaio de ultrassom foram moldados um corpo de prova cilíndrico para cada tipo de argamassa, com diâmetro de 50mm e 100mm de altura. Estes corpos de prova foram armazenados em laboratório a temperatura de  $23 \pm 2^\circ$  C, e foram submetidos a ensaio de ultrassom na idade de 7 dias. Para a realização do ensaio foi utilizado um instrumento ultrassônico Pundit Lab+ fabricado pela Proceq, com pulso energizante de 250V.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

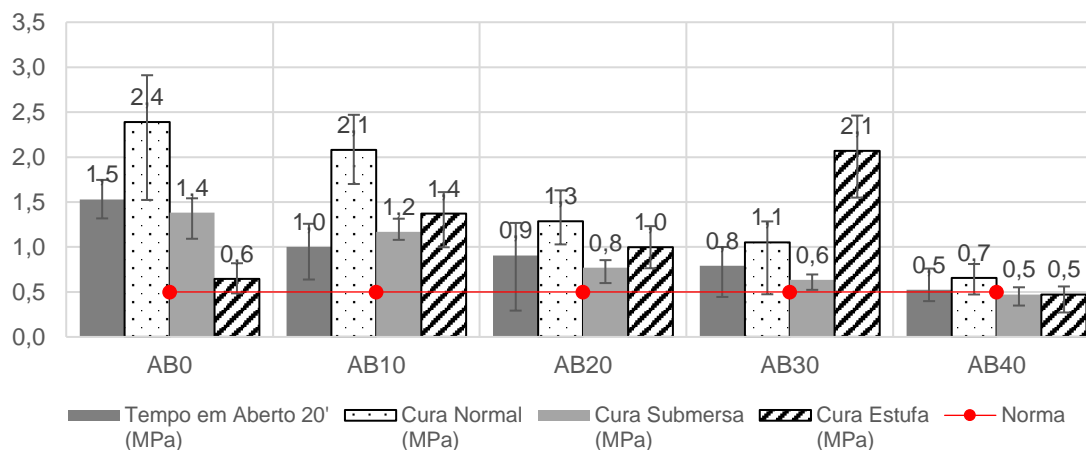
### 4.1 ENSAIOS NORMATIVOS

Os ensaios normativos avaliados foram a resistência de aderência a tração e o deslizamento

#### 4.1.1 Resistência de Aderência a Tração

O Gráfico 1, apresenta o comportamento geral das argamassas em caso de adição da borracha

Gráfico 1 – Resultados de Resistência de Aderência a Tração das Argamassas



FONTE: AUTOR, 2019

Para a argamassa padrão e para argamassa com substituição de 10% de areia por borracha, AB0 e AB10 respectivamente, o resultado de todas as condições se mostraram superiores aos requisitos normativos previstos em NBR 14081:2012 – 1.

Para as argamassas com 20, 30 e 40% de substituição de areia, caracterizado pelas argamassas AB20, AB30 e AB40 respectivamente, algumas placas cerâmicas apresentaram resultado abaixo do exigido por norma. No entanto, considerando o tratamento estatístico definido em norma, todas as argamassas apresentaram resultado superior ao especificado em norma, ou seja, superior a 0,5 MPa para resistência de aderência a tração em todas as condições de cura.

Observa-se que para as condições de cura em tempo em aberto, cura normal e cura submersa, a adição de borracha a argamassa promoveu redução da resistência de aderência a tração, assim como sugere a literatura para as propriedades mecânicas de argamassas convencionais. Para o caso da cura em estufa, os resultados apresentaram grande variabilidade, não sendo possível observar nenhuma tendência específica.

Quanto ao tipo de ruptura, nas condições de cura normal, cura submersa e cura em estufa, o tipo de ruptura A foi predominante, independentemente do tipo de argamassa. Para a condição de tempo em aberto, o tipo de ruptura A/P foi predominante em todas as argamassas.

#### 4.1.2 Deslizamento

Os resultados de deslizamento são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Resultados de Deslizamento das Argamassas

Deslizamento (mm)	AB0	AB10	AB20	AB30	AB40
1º ponto	0,12	0,20	0,11	0,06	0,05
2º ponto	0,08	0,18	0,28	0,13	0,03
3º ponto	0,04	0,27	0,14	0,07	0,13
4º ponto	0,04	0,00	0,11	0,08	0,07
5º ponto	0,07	0,10	0,14	0,04	0,11
6º ponto	0,05	0,17	0,12	0,03	0,08
<b>Média</b>	0,07	0,15	0,15	0,07	0,08
<b>Desvio Padrão</b>	0,03	0,08	0,06	0,03	0,03

FONTE: AUTOR, 2019

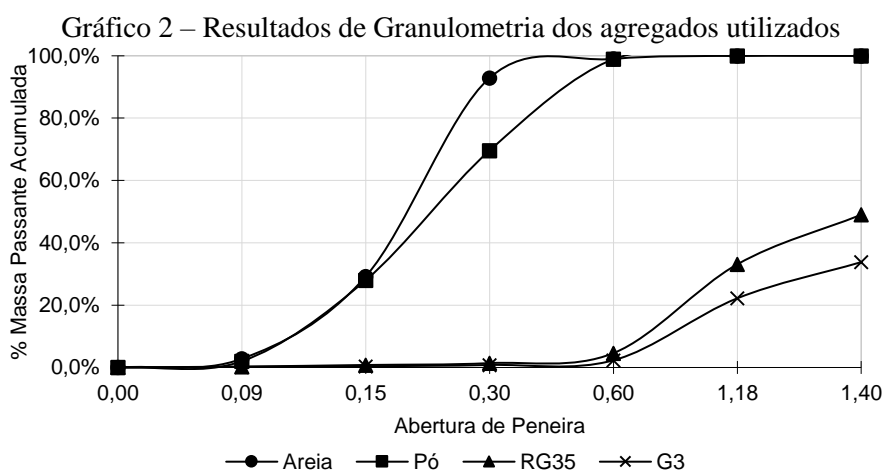
Todas as argamassas apresentaram bom desempenho quanto ao deslizamento, sendo os resultados muito inferiores ao limite normativo de 2,0 mm. Não foi possível observar nenhuma influência direta da substituição do agregado natural por borracha nesta propriedade.

## 4.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Os resultados dos ensaios de caracterização oferecem suporte e informação a propriedades importantes das argamassas, de modo a se obter o melhor desempenho das mesas.

### 4.2.1 Granulometria

Os resultados de granulometria, tanto do agregado natural, areia como da borracha estão dispostos em curvas granulométricas dispostas no Gráfico 2:



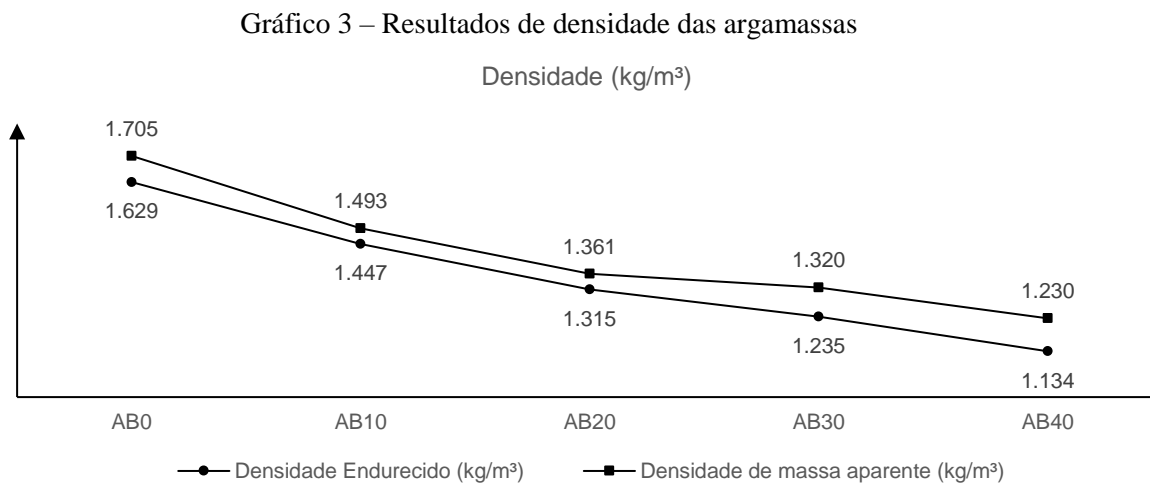
O resíduo de borracha de pneu que mais se aproximou do agregado natural foi o resíduo em pó, justificando sua maior presença de utilização dentre os resíduos de borracha.

Desta forma, a areia utilizada como agregado natural, apresentou diâmetro médio de 0,11 mm, o resíduo de borracha do tipo pó, apresentou diâmetro médio de 0,13 mm, enquanto o material tipo G3 apresentou diâmetro médio de 0,94 mm. Por fim, o resíduo de borracha tipo RG35, apresentou diâmetro médio de 1,05 mm.

A introdução de materiais com granulometria muito superiores a areia, promoveu dificuldade de mistura e prejudicou a trabalhabilidade da argamassa. Destaca-se que, durante o procedimento de peneiramento, formaram-se novelos de fibras, originários do processo de trituração e separação dos componentes do pneu.

#### 4.2.2 Densidade de massa aparente e densidade no estado endurecido

Os resultados de densidade de massa aparente e de densidade no estado endurecido são exibidos no gráfico 3.

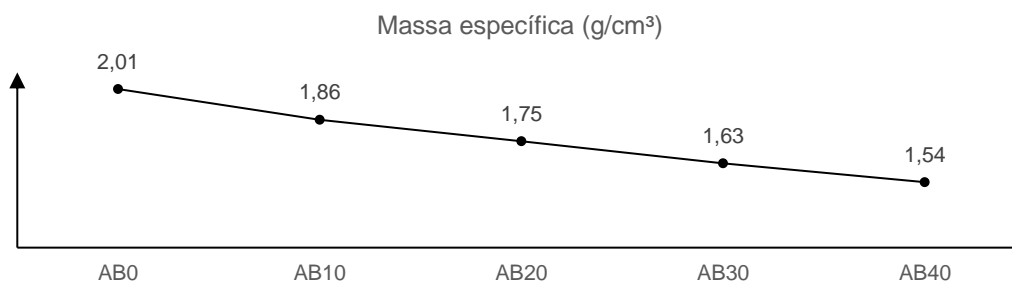


Em ambas situações houve redução da densidade em função do aumento do percentual de substituição. A redução da densidade nas argamassas com borracha pode se tornar um benefício, uma vez que reduz o peso do conjunto de revestimento das edificações. A redução de densidade chegou a 30% entre a argamassa AB0 e a argamassa AB40

#### 4.2.3 Massa Específica, índice de vazios e absorção de água

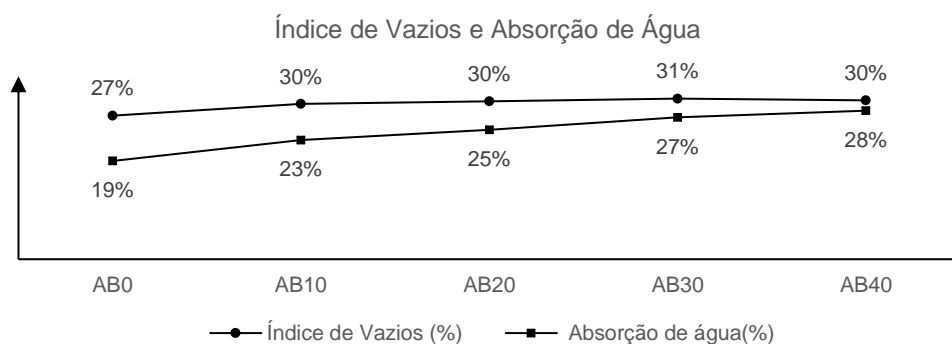
Assim como a densidade no estado endurecido, e a densidade de massa aparente, a massa específica das argamassas apresentaram redução de mesma proporcionalidade com o aumento da substituição de areia por borracha. Os resultados de massa específica estão dispostos no gráfico 4.

Gráfico 4 – Resultados de massa específica das argamassas



O gráfico 5 apresenta o resultado de índice de vazios e absorção de água. A primeira propriedade é a medição da quantidade de poros permeáveis da matriz, enquanto a segunda apresenta a capacidade de absorção de água pelo material cimentício.

Gráfico 5 – Resultados de Índice de Vazios e Absorção de água das argamassas



O índice de vazios apresentou crescimento em relação a argamassa sem borracha, mas o aumento dos teores de borracha não influenciou esta propriedade.

A propriedade de absorção de água, mostrou que as argamassas com maiores teores de borracha têm maior capacidade de absorver água. Esta propriedade é importante no que tange ao sistema construtivo, dado que a absorção de água elevada da argamassa em alguns ambientes, como banheiros e cozinhas, pode ser prejudicial ao sistema e provocar patologias futuras.

#### 4.2.4 Retenção de água

A retenção de água das argamassas não apresentou variação com a substituição de areia por borracha, indicando uma boa ação do éter de celulose empregado, uma vez que o percentual de retenção das argamassas observado contribui para uma boa



trabalhabilidade das argamassas mesmo após 20 minutos. É possível concluir ainda, que o agregado de borracha não apresentou influência sobre a ação do éter de celulose. A tabela 4 apresenta os resultados de retenção de água para as argamassas.

Tabela 4 - Resultados de Retenção de Água

	AB0	AB10	AB20	AB30	AB40
Retenção de Água (%)	99,4%	99,5%	99,2%	99,1%	99,0%

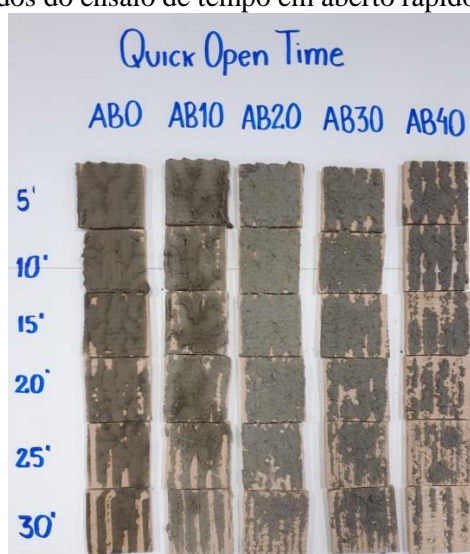
#### 4.2.5 Tempo em Aberto Rápido (*Quick Open Time*)

Os resultados de tempo em aberto rápido indicaram uma boa aderência da argamassa ao tardoz para as argamassas AB0, AB10, AB20 e AB30, em especial até os 20 minutos de tempo em aberto.

Para a argamassa AB40, em função da granulometria grosseira dos resíduos de borracha RG35 E G3, o assentamento das placas cerâmicas não foi eficiente, uma vez que mesmo após colocação do peso padrão, a placa cerâmica não provocou escoamento eficaz dos cordões da argamassa, reduzindo a aderência entre a argamassa e a placa cerâmica.

De forma geral, pede-se um recobrimento mínimo de 50% do tardoz com argamassa após 20 minutos de aplicação da argamassa. Posteriormente a este tempo, as argamassas tiveram redução na taxa de recobrimento, ainda que o preenchimento foi superior a 50%. A figura 3, apresenta os resultados de tempo em aberto rápido para todas as argamassas.

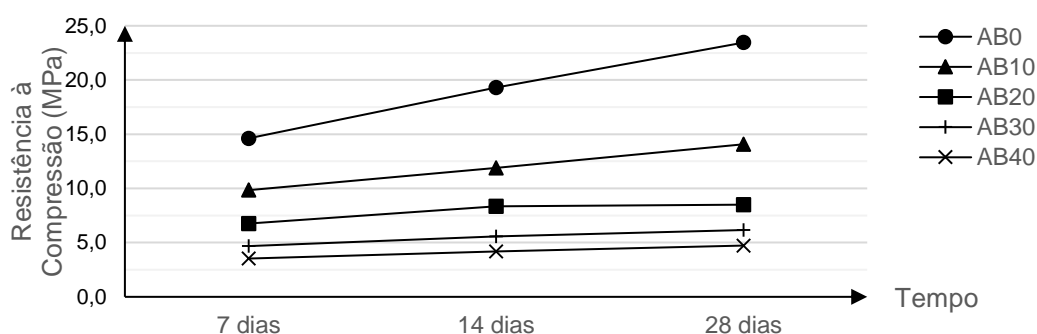
Figura 3 – Resultados do ensaio de tempo em aberto rápido (*Quick Open Time*)



#### 4.2.6 Resistência à Compressão

Os resultados de resistência à compressão indicaram reduções significativas entre a argamassa padrão (AB0), e as argamassas com substituição de areia por borracha. Em todas as idades, a argamassa padrão apresentou um resultado superior, e conseguiu elevar sua resistência de 7 para 28 dias em 60%. Os resultados de resistência a compressão e suas variações em função do tempo no Gráfico 6. Pode ser percebido que o aumento da quantidade de borracha na argamassa impede elevações na resistência a compressão da argamassa.

Gráfico 6 – Resultados de Resistência à Compressão das argamassas em função do tempo de cura

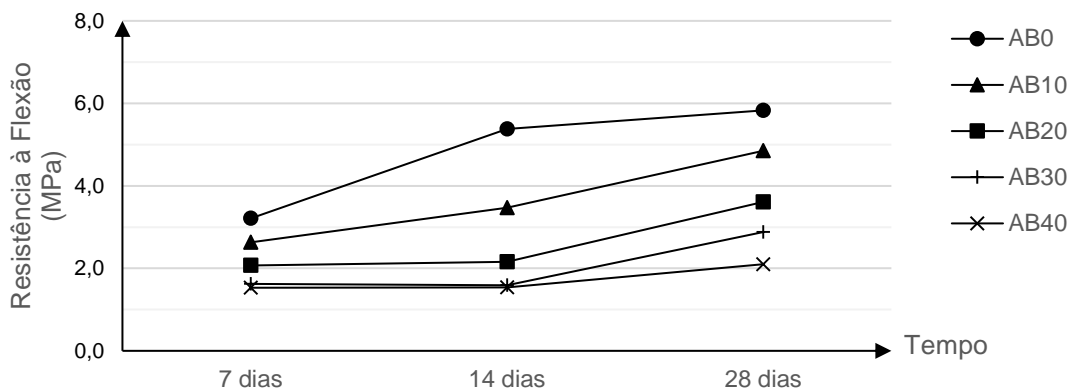


A redução da taxa de crescimento da resistência a compressão pode estar associada a dificuldade de hidratação do cimento ocasionada pela presença de borracha na composição, ou ainda a dificuldade de formação do filme polimérico entre o agregado e a pasta de cimento.

#### 4.2.7 Resistência à Flexão

Com um comportamento similar a resistência à compressão, a resistência a flexão uma elevada evolução da resistência a compressão para a argamassa AB0, de 82% entre o 28º e 7º dia de cura. A argamassa AB0, apresentou resultados de resistência a flexão 2,8 vezes superior quando comparado com a argamassa AB40. O Gráfico 7 apresenta os resultados para 7, 14 e 28 dias. Através dele, é possível observar que as argamassas com borracha tiveram baixa evolução, e reduzidos módulos de resistência à flexão.

Gráfico 7 – Resultados de Resistência à Flexão das argamassas em função do tempo de cura



Vale lembrar que tanto para resistência a compressão como para resistência a flexão, a quantidade de amostras não permitiu um tratamento estatístico adequado, sendo os resultados apenas uma tendência do comportamento destas argamassas.

O ensaio de resistência a flexão, permitiu observar a fratura das argamassas e com isso a boa dispersão que a borracha apresentou na matriz. A figura 4 apresenta as fraturas das argamassas, que não apresentaram modificação em relação a argamassa padrão.

Figura 4 – Face de fratura das argamassas moldadas



FONTE: AUTOR, 2019

#### 4.2.8 Ultrassom

O resultado do ensaio de ultrassom demonstrou que os pulsos ultrassônicos enfrentam maior dificuldade de passagem nas argamassas que apresentam maior quantidade de borracha. A tabela 5 apresenta o tempo de deslocamento do pulso ultrassônico em milissegundos em função do tipo de argamassa, para um deslocamento de 100 mm, bem como a velocidade de transmissão do pulso.

Tabela 5 - Resultados do tempo de deslocamento de um pulso ultrassônico e da velocidade de deslocamento do pulso nas argamassas

<b>Resultados Ultrassom</b>	<b>AB0</b>	<b>AB10</b>	<b>AB20</b>	<b>AB30</b>	<b>AB40</b>
Tempo de deslocamento (ms)	38,2	43,2	47,2	56,7	61,2
Velocidade de deslocamento (m/s)	2618	2315	2119	1764	1634

Observa-se que o tempo de deslocamento para argamassa com maiores teores de borracha (AB40), cresceu cerca de 60% em relação a argamassa padrão. Este resultado indica uma boa dispersão da borracha na argamassa, e pode ser utilizado como base de estudo para aplicações em que se necessita ter um ambiente com maior conforto acústico através da utilização de uma argamassa colante, ou seja, sem provocar modificações estruturais significativas nas edificações.

## 5 CONCLUSÃO

A utilização de borracha como agente substituinte de agregado natural (areia) em até 40% promove redução das resistências de aderência a tração para as condições de tempo em aberto, cura normal e cura submersa. Ainda assim, os resultados obtidos garantiram um resultado satisfatório frente aos limites normativos

A borracha apresentou boa compatibilidade na matriz cerâmica, não sendo observados macroscopicamente processos de segregação nem de exsudação entre a borracha e a matriz.

A trabalhabilidade das argamassas é prejudicada com a adição de resíduos de borracha, principalmente das frações de resíduos de borracha com granulometria mais grosseira. No entanto os resíduos de borracha não apresentam influência significativa na ação do retentor de água utilizado como aditivo nas argamassas colantes;

As propriedades de resistência à compressão, resistência à flexão, densidade e massa específica apresentam redução em função do percentual de substituição de resíduo de borracha. A borracha presente nas argamassas colantes dificulta a passagem do ultrassom, sendo uma particularidade a ser estudada para aplicações de conforto acústico;

Como sugestão de trabalhos futuros, sugere-se restringir a utilização das borrachas com granulometria similar ao agregado natural, e ainda a segmentação da utilização da

argamassa em uma aplicação específica, estudando não apenas o comportamento da argamassa, mas sim do elemento de revestimento como um todo.

## **AGRADECIMENTOS**

O autor agradece à Votorantim Cimentos pela disponibilização de insumos, equipamentos e ferramentas necessárias à execução do trabalho e à UTEP Recicladora pelo fornecimento das amostras de resíduo de pneu;

## **REFERÊNCIAS**

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2017. São Paulo: Abrelpe, 2017.

ALI, N.A. et al. Use of ground rubber tyres in Portland cement concrete. In: INTERNATIONAL CONFERENCE: CONCRETE 2000, 1993, Dundee. Proceedings... Dundee: University of Dundee, 1993. v. 2, p. 379-390.

ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. PCC – São Paulo. 2001. 13 f. Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica.

BAUER, L.a. Falcão. Materiais de Construção. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 2 v.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E.. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, São Paulo , v. 61, n. 358, p. 178-189, June 2015

CANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; De ANGELIS NETO, G. A Utilização de Resíduos de Pneus Inservíveis em Argamassa de Revestimento. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 29, n. 2, p. 141-149, 2007.

CARASEK, Helena. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. Cap. 28. p. 887-939.

CORDEIRO, L. de N. P. C.; PAES, I. de N. L.; SOUZA, P. S. L.; AZEVEDO, C. M. Caracterização da cinza de caroço de açaí residual para adição ao concreto. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 45-55, jan./mar. 2019

ELDIN, N.N.; SENOUCCI, A.B. Rubber tire particles as concrete aggregate. *J. Mater. Civil Eng.*, New York, v. 5, n. 4, p. 478-496, 1993

FARIAS, M. M.; PALMEIRA, E. M. Agregados para a construção civil. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Org.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. Cap. 16. p. 481-523.

FLORIANI, Marco Antonio; FURLANETTO, Vinícius Cadore; SEHNEM, Simone. Descarte sustentável de pneus inservíveis. **Navus: Revista de Gestão e Tecnologia**, Florianópolis, v. 6, n. 2, p.37-51, abr. 2016.

GUIMARÃES, Raul Borges. Saúde urbana: velho tema, novas questões. **Revista Terra Livre**, São Paulo, v. 17, p.155-170, jul. 2001.

GUNTHER, Wanda Maria Risso. **Resíduos Sólidos no Contexto da Saúde Ambiental**. 2008. 148 f. Monografia (Especialização) - Curso de Faculdade de Saúde Pública, Saúde Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório de Pneumáticos**. Brasília: Ibama, 2018. 76 p.

LAGARINHOS, Carlos A. F.; TENÓRIO, Jorge A. S.. Logística Reversa dos Pneus Usados no Brasil. **Polímeros**, São Carlos, v. 23, n. 1, p.49-58, fev. 2012.

MENDES, Marcos Vinicius Agapito. **ANÁLISE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO POR REJEITO MAGNÉTICO NA PRODUÇÃO DE CONCRETO**. 2016. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Gestão Organizacional, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2016.

NOHARA, Jouliana Jordan et al. GS-40 - RESÍDUOS SÓLIDOS: PASSIVO AMBIENTAL E RECICLAGEM DE PNEUS. **Thesis**, São Paulo, v. 3, n. 1, p.21-57, jul. 2005.

ODA, S. Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação. 2000. Tese (Doutorado em Transportes)–Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

OLIVEIRA, D. F. et al. Durabilidade de Compósitos de Concreto de Cimento Portland Produzidos com Agregados Reciclados da Construção Civil. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 1, n. 2, p.30-36, out. 2006.

RUBIM, B., & LEITÃO, S. (2013). O plano de mobilidade urbana e o futuro das cidades. *Estudos Avançados*, 27(79), 55-66.

SEGRE, N.C. Reutilização de borracha de pneus usados como adição em pasta de cimento. 1999. Tese (Doutorado em Química)–Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

XIMENES, Augusto Ronchini et al. O impacto ambiental devido a política de crescimento da frota de veículos. **Revista Ciências do Ambiente**, On-line, v. 4, n. 2, p.2-7, ago. 2008.