

PÓ DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM ARGAMASA DE CONTRAPISO*

Larissa Campos Granato Botelho¹
Jonas Alexandre²
Afonso Rangel Garcez Azevedo³
Sergio Neves Monteiro⁴
Andreia Arenari de Siqueira⁵
Ana Luiza Campinho Paes⁶
Valber Domingos Pinheiro⁷

Resumo

Foram geradas cerca de 600 mil toneladas de pneus inservíveis no ano de 2018 somente no Brasil que, se dispostos inadequadamente, tornam-se um grande problema para o meio ambiente e para a saúde pública. Uma alternativa de destinação ambientalmente adequada para esse resíduo é a incorporação em argamassa. Este trabalho tem como objetivo a avaliação da substituição de parte da areia pelo pó de borracha proveniente de pneus inservíveis na argamassa de contrapiso. Para tanto, foram desenvolvidas 4 argamassas na dosagem em massa de 1:6 de cimento e areia, sendo 1 argamassa de referência e 3 com as proporções de 10%, 20% e 30% de substituição. Foram avaliados granulometria e massa unitária dos agregados e densidade de massa, teor de ar incorporado, reologia e resistências à compressão e à flexão das argamassas. Os resultados obtidos demonstraram que há uma diminuição na resistência mecânica da argamassa a medida em que se aumenta a proporção de pó de borracha na mistura, devido a uma baixa massa específica do resíduo.

Palavras-chave: Argamassa; Contrapiso; Pó de borracha;

UNSERVICEABLE TIRE RUBBER POWDER IN SUBFLOOR MORTAR

Abstract

Only in Brazil, around 600.000 tons of unserviceable tires were generated in 2018, which, if inappropriately disposed, become a major problem for the environment and public health. An alternative of environmentally adequate disposal for this waste is incorporated in the mortar. This work aims to evaluate the substitution of part of the sand by rubber powder from unserviceable tires in the subfloor mortar. For this purpose, 4 mortars were developed in mass dosage of 1:6 of cement and sand, with one reference mortar and 3 with proportions of 10%, 20% and 30% of substitution. The particle size and unit mass of the aggregates and mass density, incorporated air content, rheology, compression and tensile strength of the mortars were evaluated. The results showed that there is a mechanical strength decrease of mortar as the proportion of rubber in the mixture increases, due to low specific mass of the waste.

Keywords: Mortar; Subfloor; Rubber powder;

¹ Engenheira Civil, mestranda em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

² Engenheiro Civil, doutor em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

³ Engenheiro Civil, doutor em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁴ Engenheiro Metalúrgico, PhD em Engenharia e Ciência dos Materiais, IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁵ Engenheira Civil, mestranda em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁶ Engenheira Civil, mestranda em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

⁷ Engenheiro Civil, mestre em Estruturas, LECIV, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Um problema em destaque na atualidade, levando-se em consideração o potencial de crescimento e o poder de degradação, é o impacto tanto ambiental quanto à saúde da população causado pelo gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos urbanos.

A NBR 10004 (ABNT, 2004) [1] define os resíduos sólidos como resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, entre outros.

Um exemplo de resíduo que se encontra com facilidade e em abundância no Brasil, e que, principalmente, não pode ser descartado de forma inadequada, é o pneu inservível, que é um pneu que atingiu o limite de sua vida útil e apresenta danos irreparáveis em sua estrutura.

A borracha, o principal componente dos pneus, apresenta uma forte resistência à degradação térmica; assim, a reciclagem eficiente desses resíduos tornou-se um desafio que requer solução urgente

Segundo o relatório de pneumáticos do IBAMA de 2018, foram fabricados 1.076.801,84 pneus novos e foram geradas 585.252,32 toneladas de pneus inservíveis no Brasil no ano de 2017 [2].

Muitas pesquisas vêm sendo feitas a fim de minimizar esse problema. Uma das soluções encontradas, que além de resolver a questão ambiental, melhora efetivamente algumas propriedades físicas e mecânicas das argamassas, como a ductilidade e capacidade de deformação, é a adição das partículas de borracha nas argamassas de cimento e areia.

Um exemplo são os estudos de Canova *et al.* (2015). Eles estudaram os efeitos da adição de até 12% de resíduo de pó de borracha em argamassa mista de revestimento. Proporcionalmente ao aumento das adições de pó de borracha na argamassa, houve uma queda nas propriedades mecânicas devido ao aumento no teor de ar incorporado que o resíduo gera na argamassa em função de sua baixa massa específica. Porém, com menores incidências de fissuras visíveis [3].

Este trabalho estuda a incorporação do resíduo de borracha de pneus inservíveis em substituição de parte do agregado miúdo na argamassa aplicada em contrapiso.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Materiais

O aglomerante empregado foi o Cimento *Portland CP III 40 RS*.

O agregado miúdo utilizado foi a areia natural lavada proveniente do Rio Paraíba do Sul, sendo a granulometria baseada na areia normal do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), cujo material é separado nas seguintes frações granulométricas: grossa (#16), média grossa (#30), média fina (#50) e fina (#100). Dessa forma, visa-se assegurar que, em todos os ensaios, de diferentes argamassas, sejam usadas a mesma curva granulométrica do agregado miúdo, para que não haja interferência nos resultados da pesquisa.

O pó de borracha (Figura 1) utilizado, com granulometria inferior a 0,6 mm (peneira #30), foi o gerado no setor de recauchutagem de pneu, disponibilizado pelo Instituto IDEA CÍCLICA (Instituto para Desenvolvimento Ambiental e Tecnológico), localizado na cidade de Magé - RJ. O Instituto IDEA atua na busca de alternativas que

colaborem para que empresas e instituições, ecologicamente conscientes possam dar um destino ambientalmente seguro a seus resíduos.

A água utilizada foi a fornecida pela concessionária da cidade de Campos dos Goytacazes, Águas do Paraíba.



Figura 1. Pó de borracha.

2.2 Proporções de substituição

Foram escolhidas 4 proporções para a análise do estudo em questão: 0, 10, 20 e 30% de substituição da areia pelo pó de borracha, conforme exposto na Figura 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** A denominação das argamassas está apresentada na Tabela 1.

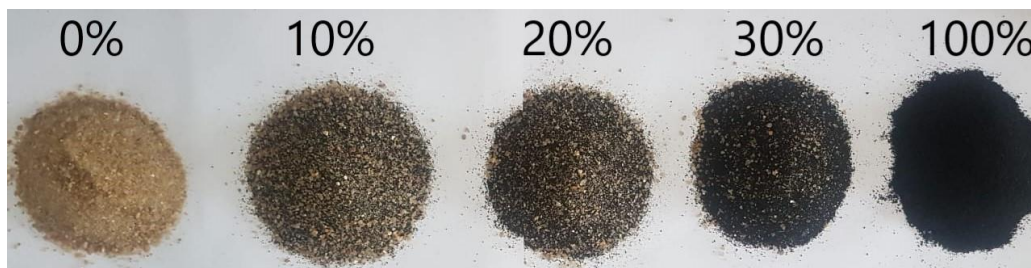


Figura 2. Proporções de substituição.

Tabela 1. Denominação das argamassas

| ARGAMASSA | NOME |
|---|------|
| Argamassa de referência (100% de agregado miúdo) | A0 |
| Argamassa com 10% de substituição de areia por pó de borracha | A10 |
| Argamassa com 20% de substituição de areia por pó de borracha | A20 |
| Argamassa com 30% de substituição de areia por pó de borracha | A30 |

2.3 Ensaio de caracterização física

Foram realizados os ensaios de granulometria, segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003) [4], e massa unitária, segundo a NBR NM 45 (ABNT, 2006) [5], da areia, do pó de borracha e da areia acrescida de pó de borracha.

A partir das curvas granulométricas expostas na Figura 1, pode-se observar que com o aumento da adição de pó de borracha, houve também um aumento na porcentagem de finos presente na amostra, o que pode acarretar num aumento no índice de vazios da argamassa.

Já na Tabela 2, pode-se observar que, a medida em que se aumenta a quantidade de resíduo de pó de borracha à areia, diminui-se significativamente a massa unitária da mistura.

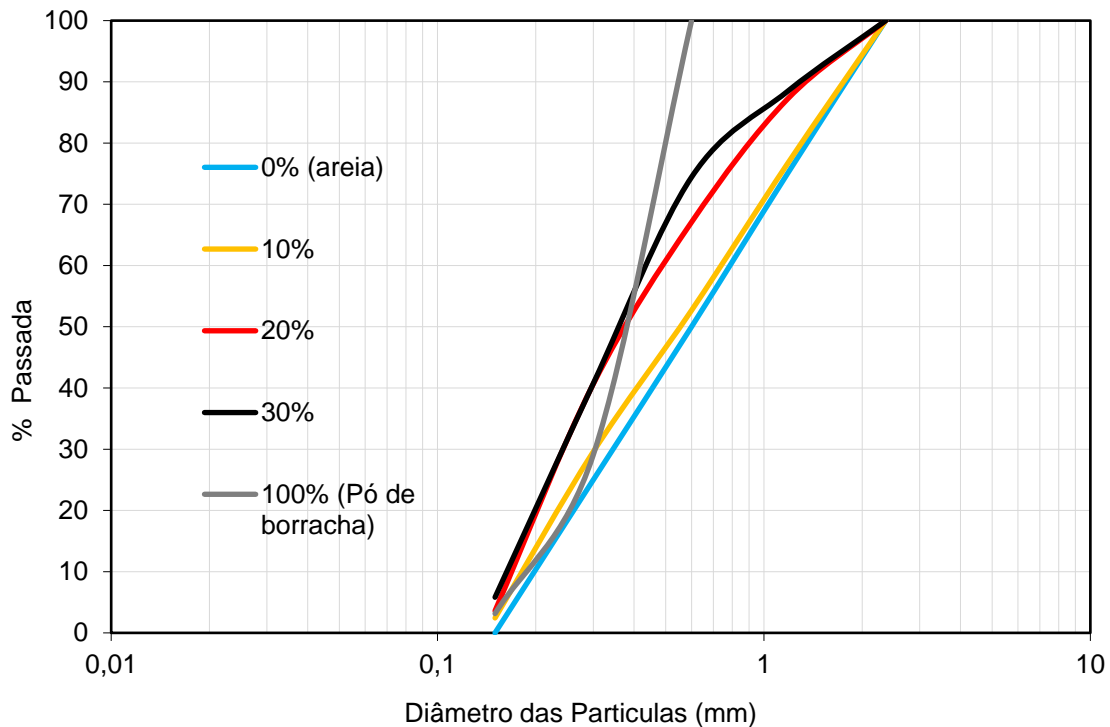


Figura 1. Curvas granulométricas do agregado miúdo.

Tabela 2. Massa unitária dos agregados

| PORCENTAGEM | MASSA UNITÁRIA (g/cm ³) |
|-------------|-------------------------------------|
| 0 | 1,57 |
| 10 | 1,32 |
| 20 | 1,13 |
| 30 | 0,89 |
| 100 | 0,42 |

2.4 Preparo das argamassas

A dosagem das argamassas escolhida foi 1:6 em massa de cimento e areia, pelo seu uso já difundido em contrapisos de edificações. Essa dosagem proporciona uma argamassa do tipo “farofa”.

O preparo foi feito conforme prescrito na NBR 13276 (ABNT, 2016) [6] para argamassas a base de cimento, misturando-se os materiais por 90 segundos na argamassadeira em velocidade baixa, deixando a mistura em repouso por 15 minutos e por fim, misturando mais 15 segundos em velocidade baixa.

Os materiais para confecção de 3 kg de argamassa com relação água/cimento igual a 0,84 estão expostos na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidade de materiais

| ARGAMASSA | CIMENTO (g) | ÁGUA (g) | AREIA (g) | PÓ DE BORRACHA (g) |
|-----------|-------------|----------|-----------|--------------------|
| A0 | 428,6 | 360 | 2571,4 | 0 |

| | | | | |
|-----|-------|-----|---------|--------|
| A0 | 428,6 | 360 | 2314,26 | 257,14 |
| A20 | 428,6 | 360 | 2057,12 | 514,28 |
| A30 | 428,6 | 360 | 1799,98 | 771,42 |

2.5 Teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco

A NBR 13278 (ABNT, 2005) [7] determina os métodos de ensaio para cálculo do teor de ar incorporado e densidade de massa das argamassas.

A densidade de massa da argamassa (A) foi calculada através da Equação (1):

$$A = \frac{M_c - M_v}{V_r} \quad (1)$$

Onde:

M_c = massa do recipiente cilíndrico de PVC, contendo a argamassa de ensaio, em g;

M_v = massa do recipiente cilíndrico de PVC vazio, em g;

V_r = volume do recipiente cilíndrico de PVC, em cm^3 .

Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4. Densidade de massa das argamassas

| ARGAMASSA | DENSIDADE DE MASSA (g/cm^3) |
|-----------|---|
| A0 | 1,83 |
| A10 | 1,51 |
| A20 | 1,38 |
| A30 | 1,20 |

O teor de ar incorporado na argamassa (AI) foi calculado através da Equação (2):

$$AI = 100 \times \left(1 - \frac{A}{B}\right) \quad (2)$$

Onde:

B = densidade de massa teórica da argamassa, sem vazios, sendo calculado através da Equação (3):

$$B = \frac{\sum M_i}{\sum \gamma_i} \quad (3)$$

Onde:

M_i = massa seca de cada componente da argamassa, inclusive massa da água;

γ_i = densidade de massa de cada componente da argamassa.

Os resultados obtidos estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5. Teor de ar incorporado

| ARGAMASSA | TEOR DE AR INCORPORADO (%) |
|-----------|----------------------------|
| A0 | 12 |
| A10 | 13 |
| A20 | 17 |
| A30 | 18 |

A partir da análise dos resultados expostos nas Tabelas 4 e 5, pode-se observar que há um aumento significativo do teor de ar incorporado e um decréscimo da densidade de massa das amostras, a medida em que se aumenta a proporção de pó de borracha na argamassa, fatos explicados devido à baixa massa unitária do resíduo.

2.6 Caracterização reológica da argamassa

Com a mistura da argamassa pronta, foi feito o ensaio *squeeze-flow* (Figura), seguindo o que está prescrito na NBR 15839 (ABNT, 2010) [8]. Esse ensaio consiste na compressão de uma amostra em um molde cilíndrico entre duas placas paralelas e estuda a deformação da argamassa enquanto esta é comprimida. O ensaio foi feito em duas velocidades de deslocamento: 0,1 mm/s (lento) e 3 mm/s (rápido). Os resultados obtidos nos ensaios estão expostos nas Figuras 5 e 6.



Figura 4. Ensaio squeeze-flow.

Por ser uma argamassa com baixo teor de água (12%), ela passa do comportamento elástico (estágio I) para o enrijecimento por deformação (estágio III), devido ao elevado atrito entre os grãos.

Quando solicitadas em maior velocidade, as amostras necessitam de maiores cargas para se deformarem. Isso ocorre porque a pasta presente está em quantidade insuficiente e apresenta elevada viscosidade, não sendo capaz de manter os agregados lubrificadas.

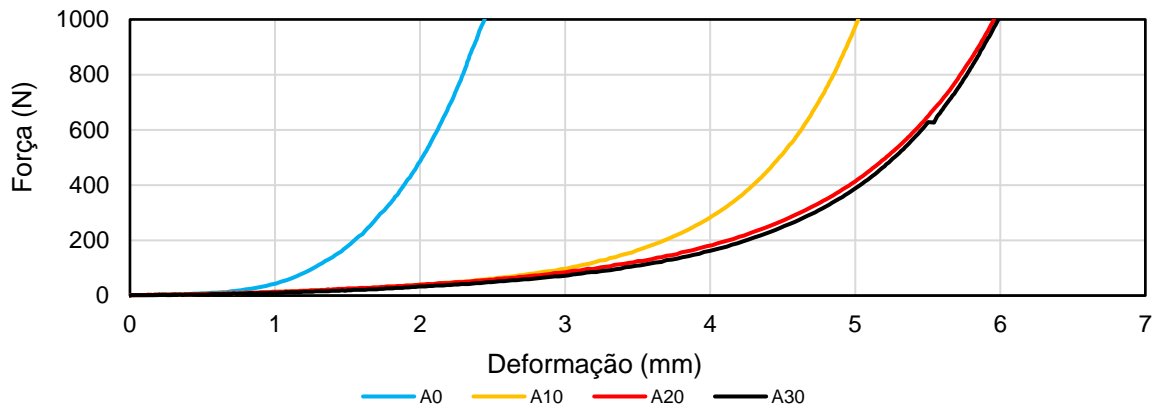


Figura 5. Ensaio squeeze-flow lento.

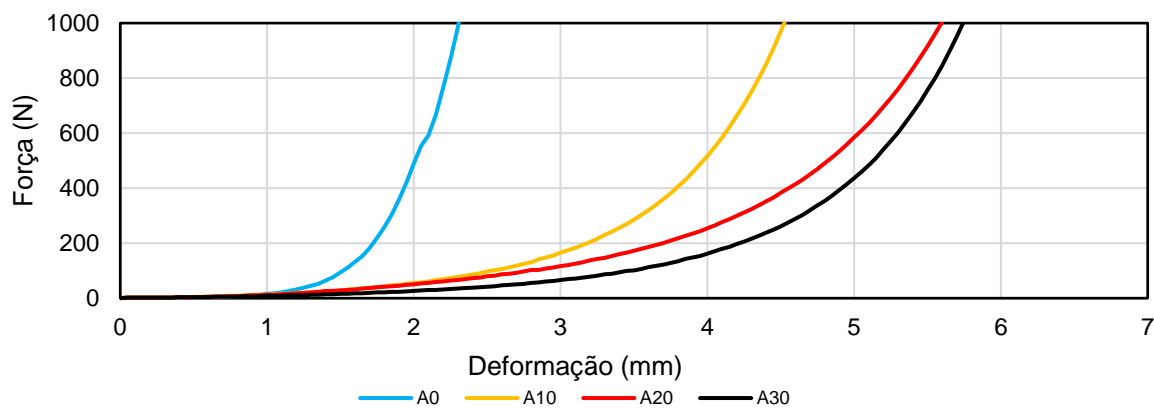


Figura 6. Ensaio squeeze-flow rápido.

2.7 Moldagem dos corpos de prova

Em seguida, foram moldados 6 corpos de prova cilíndricos (4 x 4 x 16 cm) para cada argamassa de diferentes proporções de substituição, sendo compactados com um soquete metálico com 25 golpes para cada 1/3 de camada.

2.8 Ensaios de resistência mecânica

Foi realizado o ensaio de resistência à tração na flexão aos 28 dias (Figura 7 - a), conforme as especificações da NBR 13279 (ABNT, 2005) [9]. Os resultados estão expostos na Figura 8 - a.

Por fim, foi realizado o ensaio de resistência à compressão aos 28 dias com as metades dos prismas rompidos à tração na flexão (Figura 7 - b), conforme as especificações da NBR 13279 (ABNT, 2005) [9]. Os resultados estão expostos na Figura 8 - b.

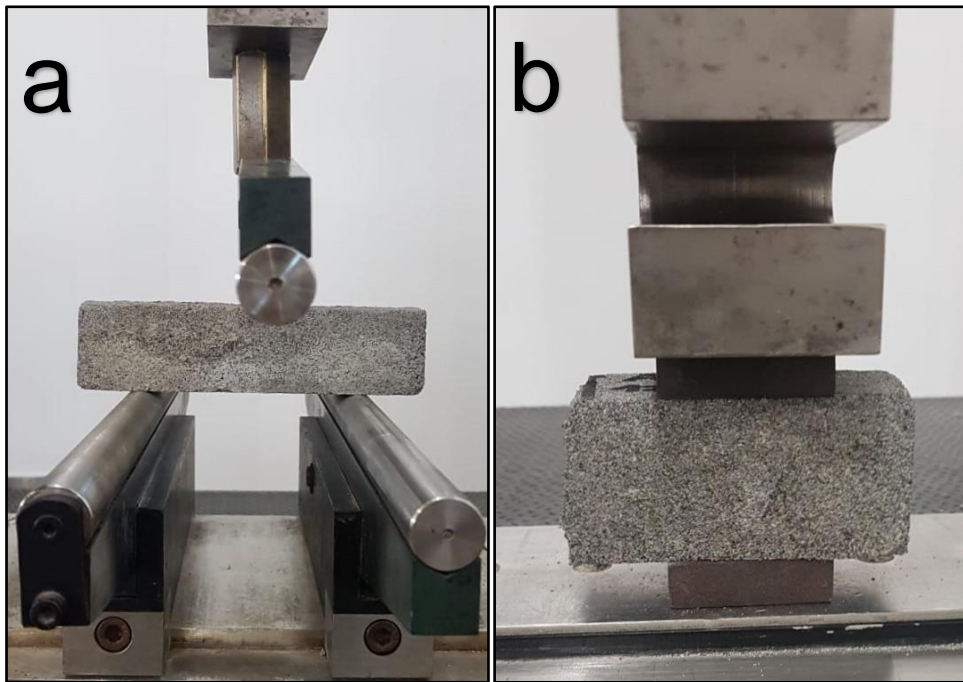


Figura 7. Ensaio de resistência mecânica: a) resistência à tração na flexão. b) resistência à compressão.

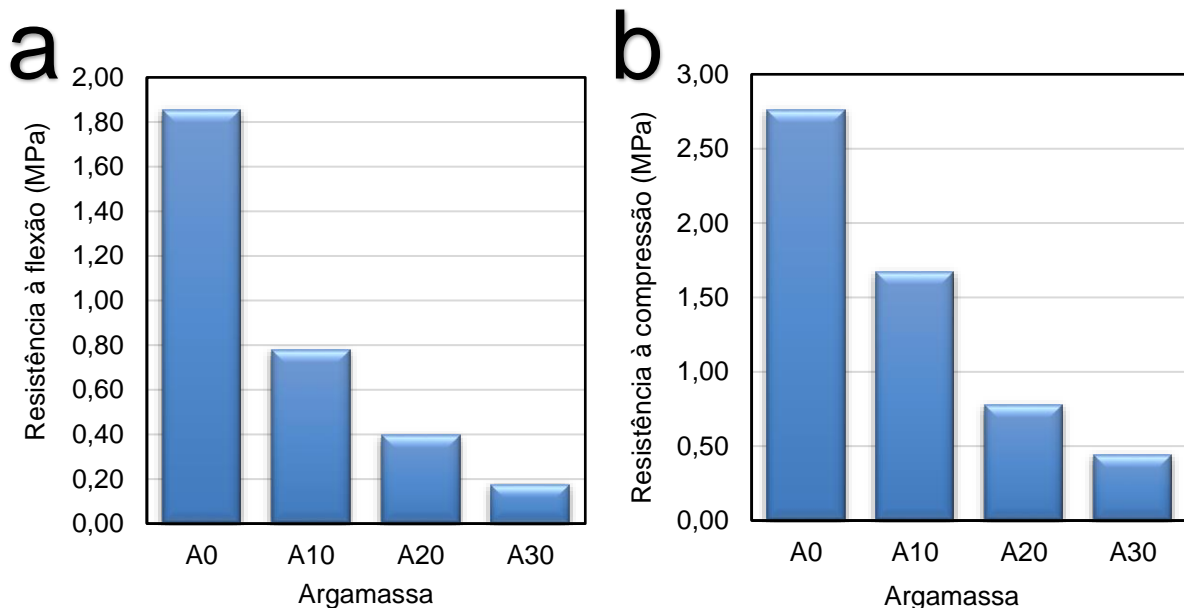


Figura 8. Resultados do ensaio de resistência mecânica: a) resistência à tração na flexão. b) resistência à compressão.

Pode ser observado na Figura 8 que, a medida em que se aumenta a quantidade de pó de borracha na argamassa, ocorre uma queda na resistência mecânica, fato que já havia sido observado por Canova *et al.* (2015) [3].

3 CONCLUSÃO

A partir das análises elaboradas neste artigo, pode-se concluir que:

- através da análise granulométrica foi possível perceber que o teor de finos na argamassa aumentou proporcionalmente à adição de pó de borracha em substituição de parte do agregado miúdo;
- a partir dos resultados obtidos para o teor incorporado, pode-se observar que com a substituição de 10% de areia pelo pó de borracha, não houve um aumento significativo nesta propriedade. Já para as proporções de 20 e 30%, houve um aumento de mais de 40%. Com isso, como previsto no ensaio de granulometria, a incorporação de pó de borracha acarreta a um aumento no índice de vazios na argamassa;
- a massa unitária da areia com adição de 30% de pó de borracha foi significativamente inferior à da areia pura, mais de 43%, o que pode também comprovar um aumento nos vazios da argamassa. Isto ocorre porque a massa unitária do pó de borracha é 73% inferior a massa unitária da areia pura;
- da mesma forma que na análise da massa unitária, a densidade de massa da argamassa com adição de pó de borracha tende a diminuir proporcionalmente com o aumento da substituição, chegando a diminuir 34% para a argamassa A30 em comparação à de referência (A0);
- no ensaio *squeeze-flow*, percebe-se que há um aumento na deformação para uma mesma carga, proporcional ao aumento da quantidade de pó de borracha nas amostras. Isso se deve ao fato de o pó de borracha ser altamente flexível;
- como esperado, através da análise da literatura e dos ensaios citados anteriormente, nos ensaios de resistência mecânica houve uma diminuição, tanto na compressão quanto na tração na flexão, proporcional ao aumento de pó de borracha da argamassa. Em comparação à dosagem de referência, a resistência à flexão diminuiu cerca de 90% e à compressão 84% na argamassa A30.

Avaliando os resultados obtidos nestas análises, chega-se a conclusão que a substituição de parte da areia pelo pó de borracha proveniente de pneus inservíveis prejudica a resistência mecânica da argamassa de forma considerável. No entanto, para viabilizar a incorporação deste resíduo na argamassa, será necessário continuar as pesquisas em busca de resultados melhores para a aplicação em contrapiso.

Agradecimentos

Os autores agradecem à UENF, em especial ao Laboratório de Engenharia Civil pelo espaço, equipe de técnicos e equipamentos utilizados nessa pesquisa. À CAPES, FAPERJ e CNPq pelo apoio à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- 2 IBAMA (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS) (2018). Relatório de Pneumáticos de 2018. Resolução CONAMA nº 416/09.

- 3 CANOVA, J., A.; BERGAMASCO, R.; ANGELIS NETO, G.; GLEIZE, P., J., P. (2012). Comparative analysis of the properties of composite mortar with addition of rubber powder from worn tires. Ambiente construído – Porto Alegre. Volume 12, nº 1.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- 6 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- 7 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- 8 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15839: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.