

## REUTILIZAÇÃO DE BORRACHA DE PNEU, COMO AGREGADO, NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSA

Douglas Vinicius Fernandes\*, Crisleine Zottis dos Reis, Manuela Gazzoni Passos

\* Universidade do Oeste de Santa Catarina, UNOESC.

douglasvinfer@gmail.

### RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo a análise de viabilidade da adição de pó de borracha, proveniente de pneus inservíveis, através da substituição parcial, de massa, da areia, na argamassa de cimento Portland, buscando uma alternativa para o uso deste material e a redução de resíduos no meio ambiente, enquanto garante o atendimento as normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), quanto ao desempenho da argamassa. A borracha foi cedida por uma empresa do ramo de recapagem de pneus, na região de Chapecó, SC, e utilizada na produção de corpos de prova de argamassa com traços de 5%, 7%, 10%, 13%, 16% e 20%. Os ensaios realizados foram executados conforme expressos em suas respectivas NBRs, sendo medidos índice de consistência, densidade de massa aparente no estado fresco e endurecido, teor de ar incorporado, absorção de água por capilaridade, coeficiente de capilaridade e resistência à flexão e à compressão. Com base nos resultados, concluiu-se que a adição de borracha na argamassa é viável, em até 7% sem que altere consideravelmente as características que garantam sua qualidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Borracha de Pneu, Sustentabilidade, Construção Civil, Argamassa, Resíduos Sólidos.

### ABSTRACT

The present study has as its objective the analysis of viability of the addition of rubber powder, provenient of unserviceable tires, through partial substitution of sand, in weight, in plastering mortar, made with Portland cement, searching a new alternative for the use of this material and the reduction of waste in the environment, while guaranteeing the standards of the ABNT (Brazilian National Standards Association), regarding the performance of the plastering mortar. The rubber was donated by a company that works in the field of tire retreading, in the region o Chapecó, SC, and used in the manufacturing of specimens with ratios of 5%, 7%, 10%, 13%, 16% and 20%. The analyzed tests were executed according to their respective NBRs, being measured the consistency value, mass density, void content, water absorption by capillarity and flexural strength and axial compressive strength. Based on the results, it was concluded that the addition of rubber powder in plastering mortar is viable, up to 7%, without considerably altering the characteristics that guarantee its quality.

**KEY WORDS:** Tire Rubber, Sustainability, Civil Construction, Mortar, Solid Waste.

### INTRODUÇÃO

Diante do grande crescimento populacional que está ocorrendo no Brasil nos últimos anos, e da concentração populacional em grandes centros urbanos, a sustentabilidade tornou-se um tema extremamente relevante. Desta forma, fazem-se necessárias inovações tecnológicas que proporcionem reduções dos impactos ambientais negativos causados pela extração de recursos naturais, industrialização, produção de lixo, má gestão de resíduos sólidos dos centros urbanos e da construção civil.

A borracha de pneu é um material extremamente atrativo quanto a reutilização, pois pode ser facilmente encontrado devido aos centros de coleta de pneus inservíveis. Na construção civil, a reutilização desse material já se mostrou possível, como agregado na produção de ligante asfáltico para pavimentação rodoviária, além de ter apresentado resultados satisfatórios em pesquisas laboratoriais publicadas.

Este trabalho tem por objetivo estudar a viabilidade de utilização de borracha de pneu, como adição na argamassa de cimento Portland, visando reduzir a quantidade de resíduos no meio ambiente, através da sua incorporação na construção civil e garantindo o desempenho das argamassas no atendimento às especificações técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Adotando traços pré-estabelecidos de argamassa com pó de borracha e, desta forma, realizando ensaios nos estados frescos e curados, a fim de determinar qual traço apresentou melhor desempenho, quando comparado com uma amostra padrão (sem adição de borracha), assim analisando a viabilidade da adição de pó de borracha à argamassa.



## OBJETIVOS

### Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo estudar a viabilidade de utilização de borracha de pneu, como adição na argamassa de cimento Portland, visando reduzir a quantidade de resíduos no meio ambiente, através da sua incorporação na construção civil e garantindo o desempenho das argamassas no atendimento às especificações técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

### Objetivos específicos

- Definir os percentuais de adição da borracha de pneu na argamassa;
- Comparar o desempenho da argamassa padrão com as argamassas com diferentes porcentagens de adição de resíduos, realizando testes tanto com a massa fresca quanto com a massa curada;
- Testes com a massa curada: densidade, porosidade aparente, absorção de água, Resistência à tração na flexão e à compressão;
- Verificar qual a porcentagem de adição que apresentou melhor desempenho;
- Analisar se é viável utilizar argamassa com adição destes resíduos.

## METODOLOGIA

No desenvolvimento da pesquisa, foram realizados ensaios nos estados fresco e endurecido, visando analisar as propriedades da argamassa com borracha, são eles: Índice de consistência, elaborado conforme prescreve a NBR 13276 (2005); teor de ar incorporado e densidade de massa no estado fresco, realizado conforme a NBR 13278 (2005); absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade; obtidos conforme a norma NBR 15259 (2005) e ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão, seguindo a NBR 13279 (2005). Para a análise, foi adotado um traço de argamassa de 1:3 de cimento e areia, respectivamente. Desta forma, substituiu-se porcentagens de 5%, 7%, 10%, 13%, 16% e 20% de pó de borracha em relação à massa de areia, além de adotada uma amostra padrão, sem substituição de pó de borracha, para comparação.

## Materiais

A areia utilizada nos ensaios foi peneirada, sendo usado apenas o material passante pela peneira de 600 mm e retido em 300 mm. O cimento utilizado foi do tipo CP II-32-Z em todos os traços. A quantidade de água (fator água/cimento) característico de cada traço variou, tendo como parâmetro o índice de consistência, determinado conforme a norma NBR 13276.

## Coleta e preparo do pó de borracha

A borracha utilizada no ensaio foi doada por uma empresa especializada no condicionamento de pneus, que possui, também, atividades de venda de pneus, alinhamento, balanceamento, geometria de veículos pesados, montagem e consertos de pneus. Foi disponibilizada borracha proveniente de pneus inservíveis, já desencapados e triturados. Em laboratório, o material foi peneirado. A borracha adicionada na argamassa foi apenas a que passou pela peneira de 600 mm e ficou retida na de 300 mm, para que permanecesse com a mesma granulometria da areia (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

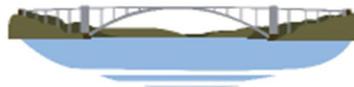


Figura 1: Peneiramento da borracha

### Elaboração dos corpos de prova

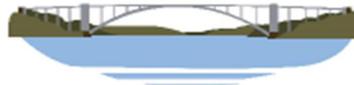
Os corpos de prova foram elaborados conforme a NBR 13279 (2005), sendo moldados 3 CP's prismáticos, de dimensões 4x4x16 cm, para cada um dos traços (Tabela 1). Os corpos de prova permaneceram na câmara de umidificação (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) durante 24 horas, quando desmoldados, permaneceram em condições ambientes (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), no laboratório de materiais da UNOESC, até o 28º dia de cura, quando pôde-se realizar os ensaios no estado endurecido.

Tabela 1: Traços das argamassas

% de Borracha	Cimento (Kg)	Areia (Kg)	Borracha (Kg)
0	0,625	1,875	0
5	0,625	1,781	0,093
7	0,625	1,744	0,131
10	0,625	1,688	0,188
13	0,625	1,631	0,244
16	0,625	1,575	0,300
20	0,625	1,500	0,374



Figura 2: CPs na câmara de umidificação



**Figura 3: CPs desmoldados**

Para o preparo dos moldes, foi aplicada uma fina camada de desengripante, com o intuito de diminuir o atrito entre a superfície do molde e as faces da argamassa, visando facilitar o desmolde posteriormente. Após aplicado o desengripante, foi introduzida uma camada de argamassa dentro de cada compartimento, aproximadamente até a metade da altura do molde, em seguida, com o auxílio de um nivelador de camadas, a camada foi espalhada de maneira a torna-la uniforme.

Em seguida, os moldes foram postos sobre uma mesa de adensamento, em que aplicou-se 30 quedas, a fim de adensar a amostra. Então, repetiu-se essa etapa mais uma vez, a fim de preencher totalmente os moldes. Esses moldes foram, então, rasados, com o uso de uma régua plástica e deixados por 24 horas em seus moldes, dentro de uma câmara de umidificação. Após isso, os CP's foram retirados de seus moldes e deixados para endurecer sob as condições ambientes do laboratório

### Índice de consistência

Conforme prescreve a NBR 13276 (2005), foi posicionado um tronco cônico sobre o centro da mesa, o qual foi preenchido por 3 camadas de argamassa, de alturas aproximadas, e aplicado 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, com o auxílio de um soquete metálico, visando distribuir cada camada de maneira uniforme.

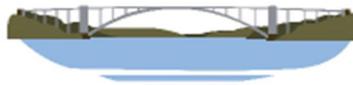
Foram aplicadas 30 quedas na mesa de adensamento, ao longo de 30 segundos ( ). Após, foi medido o diâmetro ortogonal da argamassa, com o uso de uma régua, em 3 posições diferentes. O índice de consistência foi obtido através da média aritmética dos três diâmetros obtidos.



**Figura 4: Ensaio de índice de consistência**

### Densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado

Para a realização deste ensaio, foi utilizado um recipiente de metal, com massa igual a 1353,11 g e volume igual a 399,6 ml. Conforme a NBR 13278 (2005), o ensaio consiste em pesar o recipiente vazio e com água, a fim de determinar seu



volume. O recipiente é, então, preenchido com argamassa, em três camadas uniformes, devidamente adensadas através de 20 golpes de espátula. Em seguida, aplicou-se cinco quedas na mesa de adensamento e pesou-se o conjunto recipiente/argamassa.

A densidade de massa da argamassa no estado fresco é obtida através da razão entre a diferença de massa do recipiente preenchido com argamassa e a massa do recipiente (g), e o volume do recipiente, em cm<sup>3</sup>.

Já o teor de ar incorporado, expresso em porcentagem, é calculado pela Equação 1.

$$AI = 100 \times (1 - A/B) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde A representa o valor da densidade de massa da argamassa (g/cm<sup>3</sup>); e B representa a densidade de massa teórica de argamassa, sem vazios.

### Densidade de massa no estado endurecido

Quanto ao ensaio de densidade da argamassa no estado endurecido, este foi realizado utilizando-se de dados provenientes dos demais ensaios. As amostras de argamassa com 28 dias foram pesadas. A densidade foi obtida através da razão entre a massa de cada corpo de prova e volume de cada recipiente do corpo molde (4x4x16 cm), conforme explícito na NBR 13280 (2005).

### Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Esse ensaio foi realizado aos 28 dias e consiste em, inicialmente, lixar as faces dos corpos de prova, de maneira a remover as camadas de desmoldante, proveniente dos moldes. As amostras são, então, colocadas com uma das faces quadradas sobre uma bandeja metálica, preenchida com água, de maneira que a lâmina de água fique, constante, no máximo a (5±1) mm acima da face em contato com a bandeja (Figura 5). Pesa-se cada corpo de prova aos 10 minutos e 90 minutos, conforme a NBR 15259 (2005).

O coeficiente de capilaridade, medido em g/dm<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>, é definido pela diferença entre a massa obtida aos 90 minutos e a massa obtida aos 10 minutos.

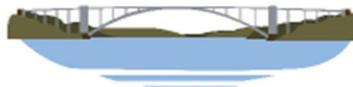


*Figura 5: Corpos de prova durante o ensaio de absorção de água por capilaridade*

### Resistência à tração na flexão e à compressão axial

Segundo a NBR 13279 (2005), aos 28 dias, rompe-se os corpos de prova à tração na flexão. As duas metades rompidas dos corpos de prova são utilizadas para medir a resistência à compressão, de maneira com que o mesmo CP seja submetido aos dois tipos de esforços.

Para a realização desses ensaios, os corpos de prova foram enviados ao campus da UNOESC em Joaçaba. Devido à necessidade da realização dos ensaios apresentados anteriormente, juntamente com a questão de logística do envio, os rompimentos foram realizados com os CP's na idade de 31 dias. Optou-se por tal devido ao fato de que materiais



cimentícios atingem sua maior resistência aos 28 dias e, embora ainda continuem a adquirir resistência ao longo do tempo, essa não será tão significativa quanto à aquela obtida durante os primeiros 28 dias.

## RESULTADOS

Neste item, serão expostos e discutidos os resultados dos ensaios realizados no decorrer da presente pesquisa. Inicialmente, serão apresentados os resultados dos ensaios no estado fresco, e posteriormente, os resultados referentes ao estado endurecido.

### Resultados do índice de consistência

A Figura 6 apresenta o volume de água necessário para a elaboração das argamassas, enquanto a Figura 7 mostra a relação entre os traços elaborados e o Fator água/cimento+borracha. Inicialmente, durante a modelagem e preparo das argamassas, foi possível notar que a fluidez das misturas diminuiu, conforme o teor de borracha aumentou, sendo necessário adicionar uma maior quantidade de água, conforme mostra a Figura 6, para obter-se um índice de consistência adequado.

Foi possível notar que os índices de consistência permaneceram próximos a 27 cm, ou seja, as amostras permaneceram dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR 13276 (2005).

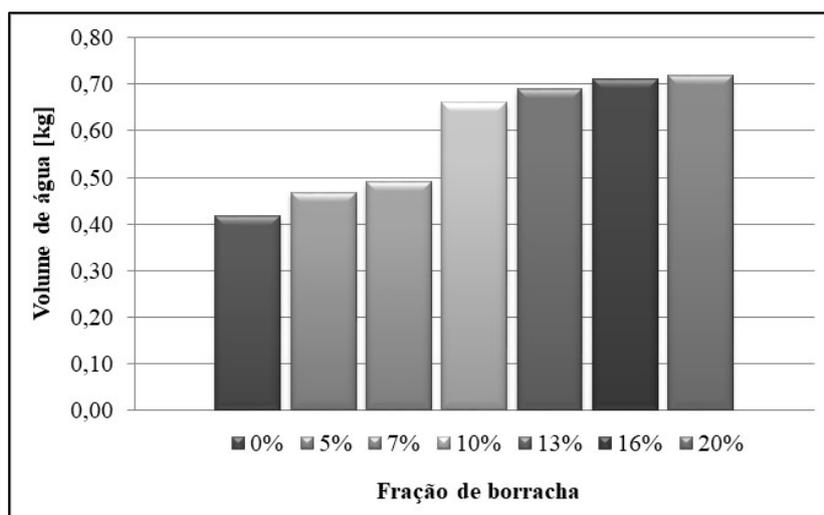


Figura 6: Volume de água necessário para elaboração da argamassa para as diferentes frações de pó de borracha estudadas

Também, foi observado que ao final do processo de adensamento, parte dos grãos de borracha contidos nas amostras tenderam a flutuar até as superfícies dos corpos de prova. Isso ocorreu devido à menor densidade que a borracha possui, em relação aos demais agregados, causando a segregação durante um processo que envolva demasiado movimento, como o adensamento, segundo Meneguini (2003).

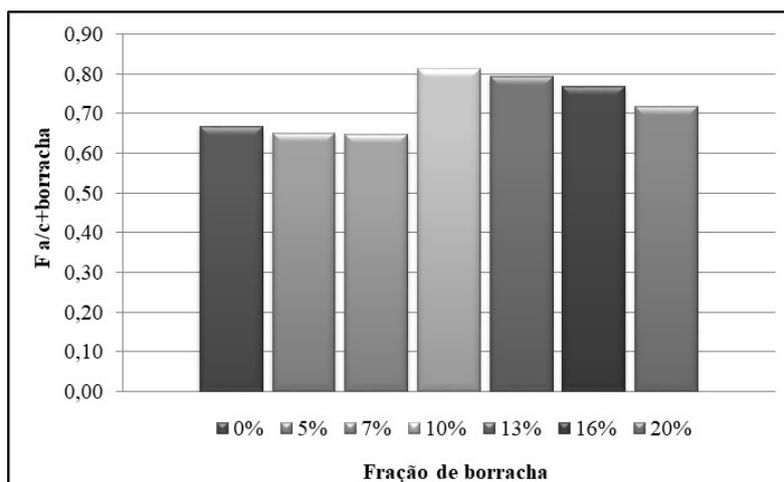
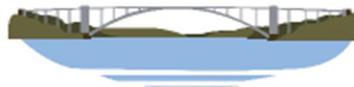


Figura 7: Fração água/cimento+borracha referente aos traços das argamassas estudadas

### Resultados dos ensaios de densidade de massa no estado fresco e teor incorporado

Com base nos resultados obtidos, verificou-se (Figura 8) que o teor de ar incorporado das amostras aumentou, conforme a fração de pó de borracha subiu. Portanto, a adição de pó de borracha à argamassa eleva a quantidade de ar incorporado.

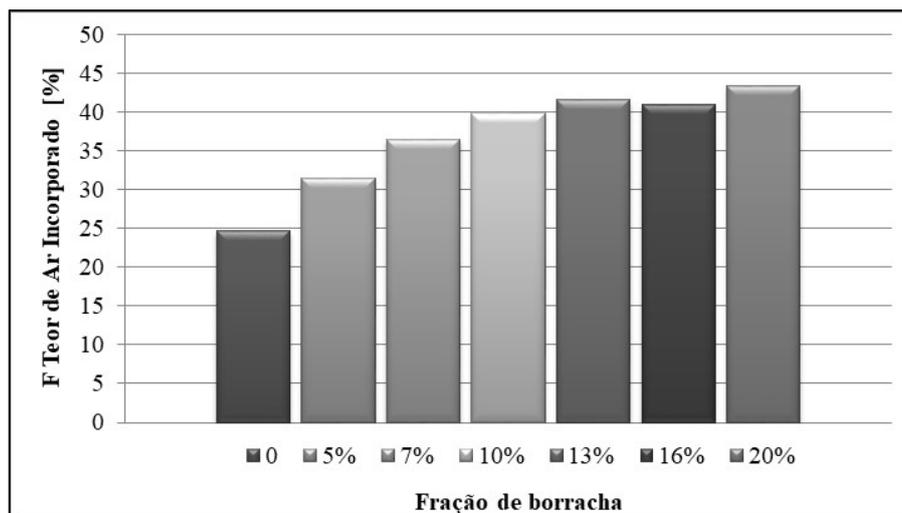


Figura 8: Teor de ar incorporado das argamassas

Quanto à densidade de massa no estado fresco, exposta na Figura 9, foi possível notar que as argamassas moldadas com a utilização de pó de borracha de pneu possuem menor densidade, no geral. Utilizou-se um valor para a densidade teórica da argamassa igual a 2720 Kg/cm<sup>3</sup>.

Segundo a pesquisa de Canova et al. (2015), chegou-se à mesma conclusão, quando se determinou menor massa específica no estado fresco, conforme o aumento da quantidade de pó de borracha adicionado à argamassa.

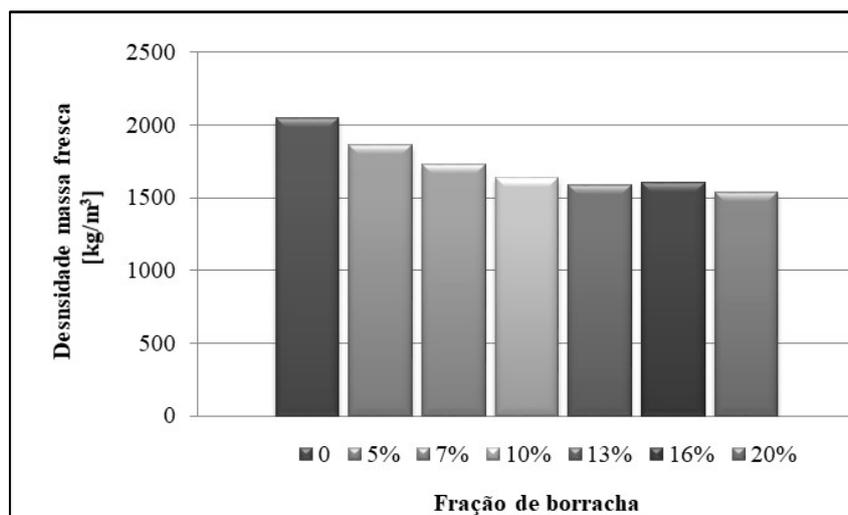
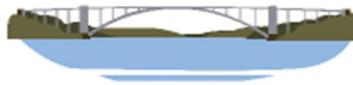


Figura 9: Densidade de massa no estado fresco

### Resultados do ensaio de densidade de massa no estado endurecido

Os resultados encontrados pelo ensaio de densidade de massa no estado endurecido, conforme mostra a Figura 10, reforçaram aqueles demonstrados pelo ensaio no estado fresco, indicando uma diminuição na densidade da argamassa conforme o aumento da fração de pó de borracha. Essa variação foi significativa, vez que as argamassas elaboradas se encontram em faixas distintas da classificação da NBR 13281 (2005), conforme Tabela 2.

A diminuição na densidade da argamassa, segundo o exposto na pesquisa de Granzotto e Souza (2013), se deve à menor densidade que a borracha de pneu possui, quando comparada com os agregados miúdos tradicionais, como cimento e areia.

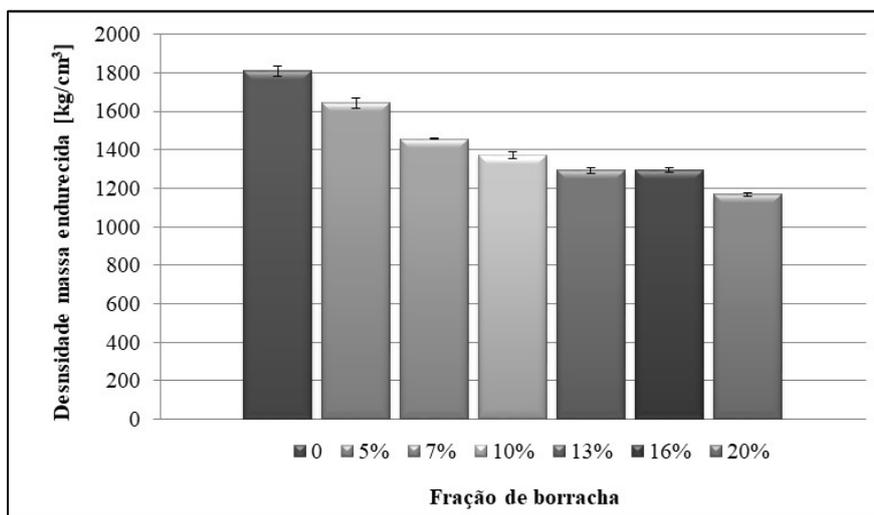


Figura 10: Densidade de massa das argamassas no estado endurecido

### Resultados do ensaio de absorção de água por capilaridade

Para o ensaio de absorção de água por capilaridade, os resultados (Figura 11) demonstraram que a amostra padrão, ou seja, a fração de argamassa sem pó de borracha incorporado, apresentou a maior absorção de água, se comparadas com os demais traços. Portanto, a adição de borracha promoveu maior dificuldade na infiltração da água, evidenciado pela variação dos resultados expostos, principalmente nos traços de 5%, 7% e 10% de borracha.

A partir de 13%, as médias elevam-se, retornando a patamares similares à amostra padrão. Também, é possível notar que os CP's de traço 20% apresentaram maior diferença das massas das amostras. Isso se deve ao fato de que, no momento



do desmolde, um dos CP's quebrou acima da metade do comprimento, levando-o a ser descartado na análise de rompimento, embora ainda fora analisado no ensaio de absorção de água por capilaridade.

Quanto ao coeficiente de capilaridade, foi possível notar (Figura 12) que, conforme as frações de pó de borracha aumentam, essas apresentaram coeficiente de absorção menor, quando comparadas com a amostra padrão, sendo que os traços com 5% e 10% foram os que apresentaram os menores coeficientes.

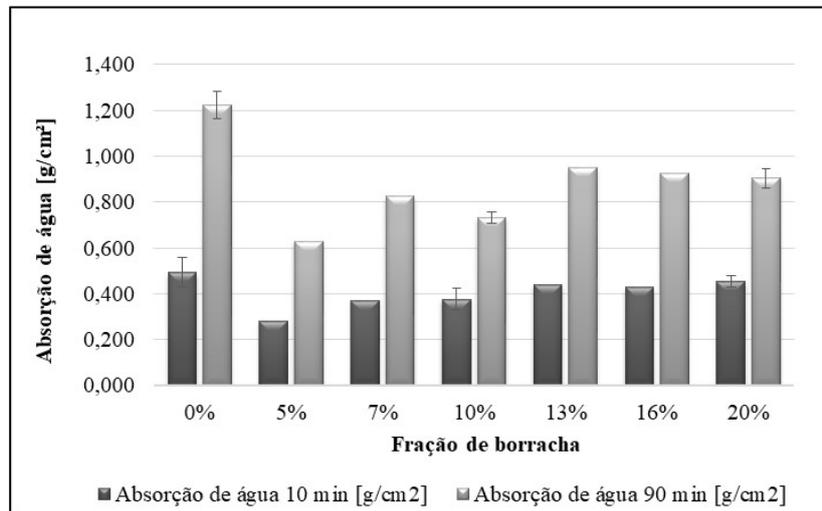


Figura 11: Absorção de água por capilaridade das amostras

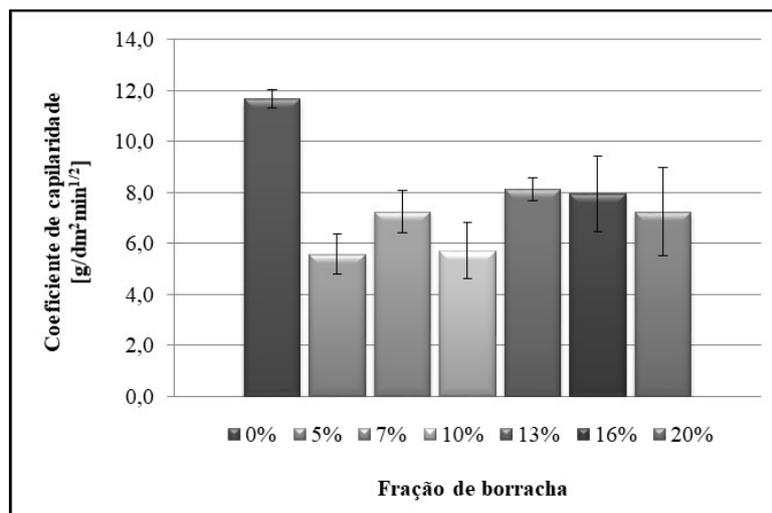


Figura 12: Coeficiente de capilaridade das argamassas

Os resultados estão de acordo com os obtidos na pesquisa de Meneguini (2003). Ele determinou que para argamassas com um traço de 1:3 de cimento e areia, respectivamente, a absorção de água foi consideravelmente menor, tanto nos primeiros dias, quanto aos 28 dias.

### Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão axial

Com base nos resultados obtidos, é possível determinar que a adição de borracha reduz a resistência da argamassa, tanto na flexão, quanto na compressão. Analisando as amostras (Figura 13) com menor porcentagem de borracha incorporada, 5% e 7%, já é possível notar a queda na resistência. A argamassa com fração de 5% sofreu uma redução de 21% da resistência à flexão, enquanto a argamassa com fração de 7% sofre uma redução de 45%, quando comparados com a amostra padrão.

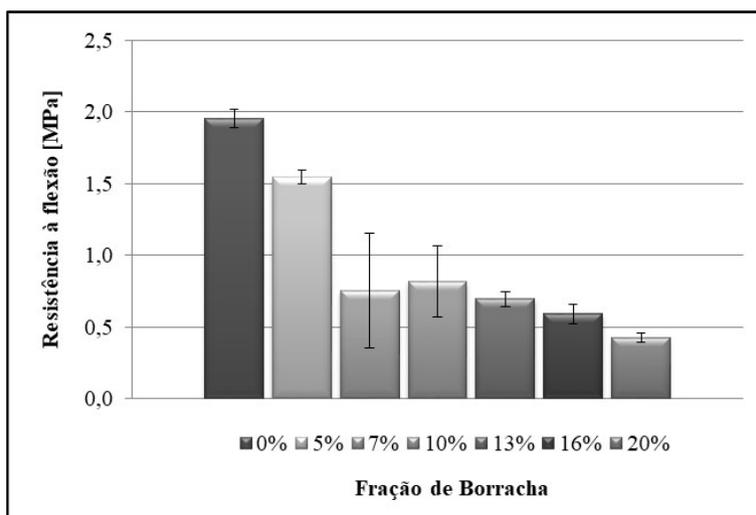
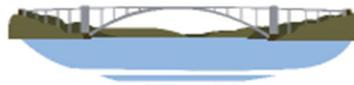


Figura 13: Relação entre as frações e suas resistências à flexão

Quanto a resistência à compressão, os resultados são apresentados na Figura 14 e demonstraram um comportamento similar à resistência à flexão. As amostras que apresentaram melhor desempenho foram os traços de 5% e 7%. Porém, ainda mostraram uma redução de 32% e 60%, respectivamente, quando comparados com a amostra padrão.

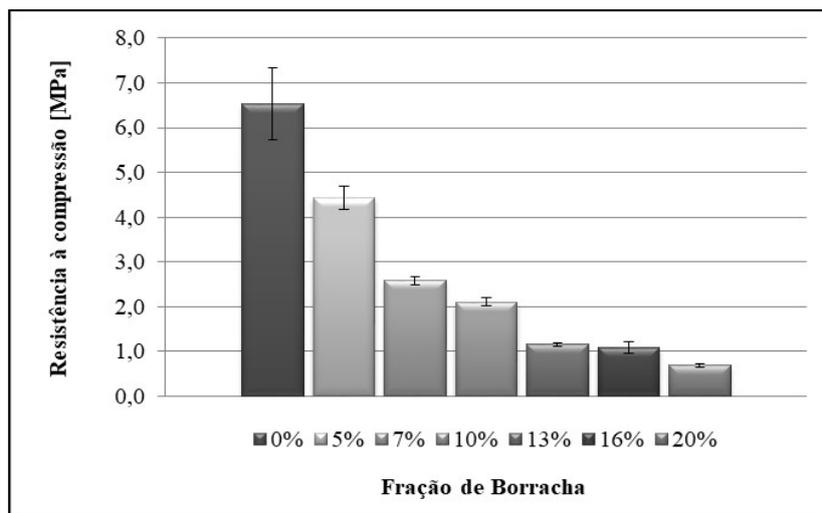


Figura 14: Relação entre as frações e suas resistências à compressão.

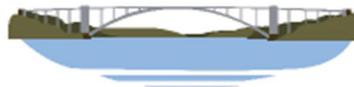
Os resultados obtidos são similares àqueles encontrados por Canova et al (2015), que em sua pesquisa demonstrou que a resistência à compressão axial das amostras com adição de borracha diminui, conforme a fração de borracha aumenta.

### Classificação das argamassas

De acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 13281 (2005), as amostras analisadas podem ser classificadas quanto às suas características determinadas através dos ensaios.

Tabela 2: Classificação de argamassas segundo a NBR 13281 (2005)

Fração	Classificação
0%	C6, D6, M5, P5, R3
5%	C4, D5, M5, P4, R3
7%	C5, D4, M4, P3, R1
10%	C5, D4, M3, P2, R1
13%	C5, D3, M3, P1, R1
16%	C5, D4, M3, P1, R1
20%	C5, D3, M2, P1, R1



## CONCLUSÕES

A adição de borracha à argamassa resulta em um produto mais leve, com maior teor de ar incorporado, maior necessidade de água, para sua produção, menos resistência, tanto à flexão quanto à compressão. Quanto a absorção de água, observou-se que esse fator tende a variar, de maneira não linear, conforme a quantidade de pó de borracha foi adicionada.

Portanto, diante dos resultados obtidos por meio dos ensaios, pôde-se determinar que a adição de pó de borracha de pneu, sem qualquer tipo de tratamento químico, em traço de cimento/areia de 1:3, é viável até 7%, tanto na elaboração da argamassa em obra, quanto na industrialização da mistura. Porém, cabe ao profissional qualificado atentar-se às classificações impostas pela normativa, quanto às distintas características para a melhor utilização da mistura, sem que comprometa a qualidade e função do objeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 7225**: Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, 1993.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
4. 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.
5. 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.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.
7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 15259**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.
9. CANOVA, J. A. BERGAMASCO, R. Neto, G.A. Pó de borracha de pneus inservíveis em argamassa de revestimento. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 41-53, 2015.
10. GRANZOTTO, L. SOUZA, R. A. Mechanical properties of structural concrete with partial replacement of fine aggregate by tire rubber. **Acta Scientiarum, Technology**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 39-44, jan-mar, 2013.
11. MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com o emprego de pó de borracha**. 2013. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas, 2003.