

# AVALIAÇÃO DO EMPREGO DE AGREGADOS MIÚDOS PROVENIENTES DO BENEFICIAMENTO DE PNEUS AUTOMOTIVOS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA

## AGGREGATES OF EMPLOYMENT RATE FROM THE AUTOMOTIVE TIRE PROCESSING KIDS IN MORTAR PRODUCTION

**MACEDO, Patrick Douglas Freitas**

pesquisador, curso de engenharia de materiais pela Universidade Federal de Itajubá – Campus Avançado de Itabira, patrickdouglas2@hotmail.com

**QUEIROZ, Bianca Groner**

pesquisadora, curso de engenharia de materiais pela Universidade Federal de Itajubá – Campus Avançado de Itabira, biancagronerq@gmail.com

**TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez**

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela UFRJ, professor de materiais metálicos pela Universidade Federal de Itajubá – Campus Avançado de Itabira, ricardo.lui@unifei.edu.br

**OLIVEIRA, Carlos Augusto de Souza,**

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Minas pela UFMG, professor do curso de Engenharia da Mobilidade pela Universidade Federal de Itajubá – Campus Avançado de Itabira, carlosoliveira@unifei.edu.br

### Resumo

O trabalho desenvolveu uma formulação de produto à base de cimento com incorporação de pneus inservíveis oriundos da indústria automotiva com características técnicas adaptadas à fabricação de argamassas, tipicamente utilizadas para a construção civil. Os resultados indicam a possibilidade técnica de incorporação dos grânulos de pneu às formulações de argamassa, sem que ocorram prejuízos ao desempenho em uso destes produtos e qualificando esta como uma destinação ambientalmente adequada.

**Palavras-chave:** pneus inservíveis; argamassa; agregado miúdo.

### CONCRETE WITH ADDITION OF VEGETABLE FIBERS FOR STRUCTURAL PURPOSES

### Abstract

This work developed a formulation of cement-based product incorporating waste automotive tires. It was developed a material with technical features adapted to the manufacture of mortar, typically used for civil construction. The results indicate the possibility of technical incorporating of tire waste in mortar, without incurring damage to the performance of these products and qualifying this as an environmentally appropriated.

**Key words:** waste tires; mortar; fine aggregate.

# 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 Influência do agregado miúdo nas propriedades das argamassas.

Segundo a norma brasileira NBR 7211 – Agregados para concreto – Agregado miúdo é definido como sendo a porção de areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm. [1]

Os agregados influenciam nas propriedades das argamassas através de dois mecanismos: (1) Modificando as propriedades reológicas pelo tamanho, distribuição e geometria das partículas, e (2) alterando a quantidade de água lubrificante para se atingir a trabalhabilidade necessária, pelo efeito das características das partículas e da sua própria absorção de água. [2]

Os agregados miúdos têm influência preponderante sobre a plasticidade da argamassa, devido a sua característica de possuir elevada área específica. Qualquer alteração do seu teor na mistura irá provocar alterações significativas no consumo de água e, conseqüentemente, no de cimento. Como o cimento é o material mais caro da mistura, alterações no consumo incidem diretamente sobre o custo do material. [3]

O tamanho do agregado miúdo interfere diretamente na quantidade de água de molhagem para se atingir a plasticidade requerida, uma vez que, quanto menor for a granulometria maior é a área superficial por unidade de volume. A presença de argilas principalmente as do tipo ílíticas, também altera a quantidade de água de molhagem, uma vez que, estas absorvem uma grande quantidade de água em sua estrutura.

Quanto à natureza do agregado miúdo, a literatura considera que areias naturais produzem argamassas mais trabalháveis quando comparadas a agregados triturados. Quanto à densidade, argamassas produzidas a partir de agregados de baixíssima densidade são menos trabalháveis quando comparadas a aquelas produzidas a partir de agregados de densidade “normais”. Quanto à forma e a textura superficial, a plasticidade será pior quando forem mais angulosas rugosas ou alongadas as partículas do agregado miúdo. [2]

A tabela a seguir resume as principais relações entre as propriedades do agregado miúdo e a sua influência na trabalhabilidade de argamassas.

A tabela a seguir resume as principais relações entre as propriedades do agregado miúdo e a sua influência na trabalhabilidade de argamassas.

<b>Argamassas</b>	<b>↑ Tamanho</b>	<b>↑ Teor argila</b>	<b>↓↓ Densidade</b>	<b>↑ Forma Angular e Rugosa</b>
<b>Trabalhabilidade</b>	<b>Melhor</b>	<b>Pior</b>	<b>Pior</b>	<b>Pior</b>

**Tabela 1**

Relação entre as propriedades do agregado miúdo na produção de argamassas

## 1.2 Dificuldades de se obter agregados miúdos naturais e a alternativa da utilização de pneus automotivos.

É cada vez maior a dificuldade de se encontrar agregados miúdos naturais, em algumas regiões do país, no oeste de Santa Catarina já se buscam areais naturais a distâncias superiores a 200 km da frente de serviço. O esgotamento das jazidas de areia natural próximas dos grandes centros de consumo, a contaminação das fontes de material pela poluição e as políticas de proteção ambiental fazem com que a obtenção de agregados miúdos para emprego na construção civil, particularmente na produção de concretos convencionais, seja impulsionada na direção de novas opções. [4]

A atividade de exploração é, por natureza, causadora de impactos ambientais. Tais impactos são decorrentes da exploração, muitas vezes desordenada das jazidas e causam graves problemas ambientais, pois agredem as calhas naturais dos rios, levando a um aumento da vazão de água e acelerando o processo de erosão das margens.

A erosão acaba retirando a cobertura vegetal dessas áreas e tornando o solo estéril, sem crescimento de vegetação e sem possibilidade de recomposição do ambiente explorado. Neste sentido, a atual legislação vem obrigando os produtores a lançar mão de técnicas de gerenciamento e de extração ou até de interdição de jazidas que não atendem às suas exigências. [5]

Diante disso, o uso de uma argamassa de areia e cimento utilizando pó de borracha de pneus usados pode ser efetivo como adição, produzindo um material isolante, em função de sua baixa condutividade elétrica e sonora. Por tratar-se de uma argamassa com uma adição pouco usual, há a necessidade de se obter as características desta argamassa para se estudar o seu uso na construção civil. O uso do pó da borracha, obtido da moagem de pneus usados, vem colaborar com a preservação do meio ambiente, visto que estes resíduos têm sido descartados sem nenhum controle. [6]

Meneguini (2003) incorporou pó de borracha quimicamente modificada por hidróxido de sódio à formulação de argamassas, o autor verificou um aumento da adesão da borracha à pasta de cimento tornando a mistura mais coesa [7]. Quanto à influência do tamanho dos grânulos de pneus a pesquisa concluiu que com a diminuição da granulometria melhor é o desempenho mecânico do material.

Turatsinze et. al (2005) também realizou a incorporação de grânulos de borracha à argamassa e em sua pesquisa o autor verificou um efeito deletério da resistência à compressão à medida que se aumentava a porcentagem de substituição de areia natural, contudo ele também observou uma diminuição do módulo de elasticidade e com isso um aumento da capacidade do material de absorver tensões. [8]

Herrero et. al (2013) nesta mesma linha de pesquisa observou o efeito de diminuição da resistência mecânica, porém o autor também investigou propriedades acústicas e térmicas desde novo material [9]. E concluiu que a inserção de pneus inservíveis melhora as propriedades acústicas e térmicas à medida que se diminui a granulometria do agregado. E que devido a essas melhorias estas argamassas são apropriadas em aplicações construtivas, como pisos e camadas de compressão ou lajes para edifícios. Finalmente, o uso de agregados de borracha em materiais cimentícios oferece uma oportunidade para atingir uma finalidade ambiental: a proteção do ambiente, reciclagem de borracha obtida a partir de pneus não reutilizáveis. Além de ser uma alternativa à substituição parcial de agregados miúdos naturais cujas reservas estão cada vez mais se exaurindo.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

O traço adotado para a formulação das argamassas foi um traço típico de revestimento de paredes, porém, utilizou-se também cal hidratada a fim conferir uma maior plasticidade à massa cimentícia, já se esperando uma perda de trabalhabilidade devido à substituição parcial do AMN pelo AMP. A substituição foi feita em cima da massa de areia nas seguintes proporções: 5% e 10%. Na tabela abaixo as formulações foram identificadas como referência (0% de pneu), A5 (5% de pneu) e A10 (10% de pneu).

**Tabela 2**  
Formulações de argamassas.

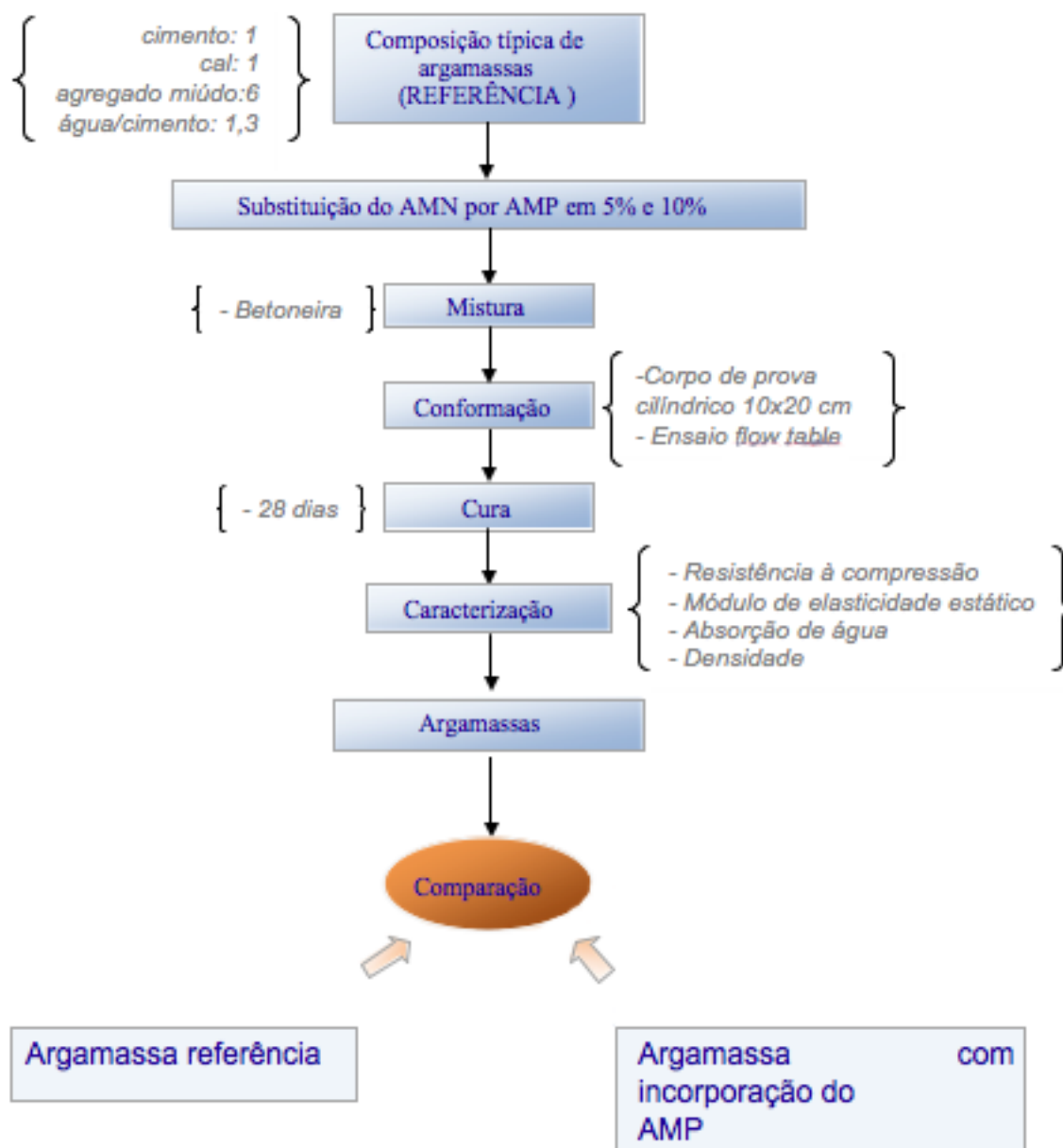
Formulação	Cimento	Cal hidratada	AMN	AMP	a/c
Referência	1	1	6	0	1,3
A5	1	1	5,7	0,3	1,3
A10	1	1	5,4	0,6	1,3

Os materiais utilizados foram: cimento Portland CPV-ARI de alta resistência inicial e agregado miúdo (areia), os quais foram caracterizados segundo as normas específicas NBR 7215, NBR 9776, NBR NM 45 e NBR 7217 [10-13]. Os grânulos de pneus foram obtidos da empresa RACRI localizada na cidade de Betim (MG). A granulometria utilizada foi a da malha 10 mesh com tamanho de grão de 1,05 mm à 2,47mm, conforme nos mostra a figura a seguir.



**Figura 1**  
Grânulos de pneus [10].

O fluxograma apresentado abaixo mostra, de forma resumida, a metodologia adotada na confecção dos corpos de prova.



**Figura 2**  
Fluxograma do procedimento experimental.

A consistência da argamassa foi avaliada através do índice de consistência na mesa (Flow Table) segundo a norma NBR 13276 [14], realizou-se o ensaio duas vezes para cada formulação e tomou-se como resultado a média das duas medidas. Para o cálculo da densidade deixou-se três corpos de prova de cada formulação dentro de uma estufa a 100°C durante 24 horas, passado esse tempo pesou-se-os e então se calculou a razão entre a massa e o volume de um corpo de prova de 10x 20 cm<sup>2</sup>.

As caracterizações dos corpos de prova foram realizadas determinando-se o módulo de elasticidade estático e resistência à compressão, utilizando-se uma máquina universal de ensaios EMIC. Para a determinação do módulo de elasticidade utilizou-se também um extensômetro da marca EMIC. Ensaíram-se três corpos de prova de cada formulação, estes se encontravam na idade de 28 dias.

O ensaio de absorção de água foi executado segundo a metodologia prescrita na norma brasileira NBR 13858-2 -Telhas de concreto - Parte 2 [15]: Requisitos e métodos de ensaio anexo B. Utilizaram-se três corpos de prova de cada formulação para este ensaio.



**Figura 3**  
Ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados na Tabela 3 e discutidos na sequência.

Formulação	$\sigma_c$ (MPa)	E (GPa)	AA (%)	Flow Table	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )
------------	---------------------	------------	-----------	---------------	-----------------------------------

**Tabela 3**  
Resultados obtidos na etapa de caracterização.

	(mm)				
Referência	2,7	5,2	21	260	2427
A5	3,5	6,1	20	240	2400
A10	2,7	3,7	19	250	2373



A partir da tabela 3 podemos observar o comportamento da argamassa à medida que se aumenta o teor de substituição do AMN pelo AMP. Com o incremento dos grânulos de pneus podemos concluir que a densidade do material diminui e de fato experimentalmente observou-se que um maior volume de material foi produzido para os traços A5 e A10. Sendo assim podemos afirmar que a inserção do AMP aumenta o rendimento da produção de argamassas.

Os resultados do ensaio de resistência à compressão nos mostram que não houve efeito deletério da resistência dentro dos limites de substituição adotados para este trabalho. Os autores Herrero et al (2013) e Turatsinze (2005) citam que a perda da resistência à compressão em argamassas é observada para teores de substituição maiores que 10%. [7,8]. O traço que apresentou a maior resistência à compressão foi o A5, indicando que para este teor houve uma maior coesão entre a borracha e a massa cimentícia, o que foi comprovado no ensaio de módulo de elasticidade tendo o A5 a maior rigidez.

O traço Referência e A10 apresentaram o mesmo valor de resistência à compressão, porém, se diferenciaram bastante quanto ao módulo de elasticidade. A diminuição do módulo significa que para este teor de substituição o material já começa a apresentar as características de sua segunda fase elastomérica.

De acordo com os resultados do ensaio de resistência à compressão as argamassas produzidas se enquadram na classe I (resistência à compressão entre 0,1 MPa e 4 MPa) da norma brasileira NBR 13281 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos [16].

Quanto à plasticidade no estado fresco da argamassa podemos concluir que a inserção do AMP diminui a trabalhabilidade da mistura, porém, para fins práticos os valores encontrados nesta pesquisa são satisfatórios para aplicações de revestimento (argamassa trabalhável).

Os resultados de absorção de água nos mostram que à medida que se aumenta o teor de AMP diminui a absorção de água. Este fato acontece devido a dois motivos: 1) Diminuição da porosidade aparente da argamassa, 2) Repulsão da água devido à característica hidrofóbica da borracha. Sugere-se então o ensaio de picnometria a gás hélio para medir a quantidade de poros abertos do material para se compreender melhor este efeito.

## 4 - CONCLUSÕES

A substituição parcial do agregado miúdo natural AMN por agregado miúdo oriundo do beneficiamento de pneus AMP é uma alternativa para a reciclagem desses pneus, e também, para suprir a falta de AMN do mercado cujas jazidas já estão se exaurindo. Os resultados mostraram que até 10% de substituição não há perdas na resistência à compressão das argamassas, pelo contrário, a formulação com 5% de pneus apresentou melhor desempenho mecânico que a referência.

A formulação A10 apresentou um módulo de elasticidade menor que as demais formulações, comportamento este característico de sua segunda fase elastomérica. Argamassas com baixo módulo de elasticidade são interessantes em aplicações que exigem absorção de impacto.

Observou-se uma diminuição da densidade do material à medida que se aumentava o teor do AMP, característica essa muito interessante, pois o material diminui o seu peso e continua a apresentar a mesma resistência mecânica, porém, agora com uma menor rigidez.

As argamassas com a incorporação do AMP possuem uma menor absorção de água, característica ímpar que é muito interessante para aplicações como argamassa de assentamento em revestimento de azulejos em banheiros. A argamassa de assentamento

não deve permitir transpassar água para a base do corpo cerâmico e assim evitar a mancha d'água.

E por fim, o emprego do agregado miúdo oriundo do beneficiamento de pneus na produção de argamassa é tecnicamente viável.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à UNIFEI- Campus Avançado de Itabira, pelo apoio a esta pesquisa.

## BIBLIOGRAFIA

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7211 Agregados para concreto – Especificação, Rio de Janeiro, 2009.
2. SIMS, I; BROWN, B. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*. Butterworth Heinemann Fourth Edition. Dundee, 2004.
3. RODRIGUES, P.P.F. Parâmetros de dosagem do concreto. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, 1995.
4. KUMAR, P.; MORAWSKA, L.. Recycling concrete: An undiscovered source of ultrafine particles. *Atmospheric Environment*, v. 90, p. 51-58, 2014.
5. de QUEIROGA CAVALCANTI, N. L.; SUKAR, S. F.; da COSTA, A. J. Avaliação de Propriedades Físicas e Mecânicas de Concretos Produzidos com Agregados Graúdos Reciclados de Resíduos da Construção Civil. *Anais da Mostra de Extensão, Inovação e Pesquisa*, 1, 2014.
6. FIORITI, C. F.; INO, A.; AKASAKI, J. L. Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. *Ambiente Construído*, v. 7, n. 4, p. 43-54, 2007.
7. VERZEGNASSI, Emerson et al. Concreto convencional com adição de borracha reciclada de pneus: estudo das propriedades mecânicas. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, v. 7, n. 2, p. 98-108, 2011.
8. TURATSINZE, A; BONNET, B, S; GRANJU, J.L. Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres. *Building and Environment*, 40, p. 221-226, 2005.
9. HERRERO, S; MAYOR, P; OLIVARES, H. Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster-rubber mortars. *Materials and Design* 47, p. 633–642, 2013.
10. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro. 1996.
11. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9776. Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro. 1987.
12. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 45 – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006.
13. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 1987.
14. ABNT – 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. 2002.
15. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13858: Telhas de concreto - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 1997.
16. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13281. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro. 2001.