



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ EURICO DE QUEIRÓS

AValiação DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS À BASE DE
CIMENTO PORTLAND PARA REJUNTAMENTO DE PLACAS
CERÂMICAS TIPO II COM ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA DE
PNEUS

NATAL/RN
NOVEMBRO DE 2015

JOSÉ EURICO DE QUEIRÓS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS À BASE DE
CIMENTO PORTLAND PARA REJUNTAMENTO DE PLACAS
CERÂMICAS TIPO II COM ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA DE
PNEUS

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós-graduação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração em materiais de construção.

Orientadora: Profa. Dra. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá.

NATAL/RN
NOVEMBRO DE 2015

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede
Catalogação da Publicação na Fonte

Queirós, José Eurico de.

Avaliação do desempenho de argamassas à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas tipo II com adição de pó de borracha de pneus / José Eurico de Queirós. - Natal, 2015.

78f: il.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá.

Coorientador: Marcos Alissandro S. dos Anjos.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

1. Argamassa – Dissertação. 2. Pó de borracha – Dissertação. 3. Rejuntamento – Dissertação. 4. Resíduo - Dissertação. I. Sá, Maria das Vitórias Vieira Almeida de. II. Anjos, Marcos Alissandro S. dos. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 666.971.4

JOSÉ EURICO DE QUEIRÓS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS À BASE DE
CIMENTO PORTLAND PARA REJUNTAMENTO DE PLACAS
CERÂMICAS TIPO II COM ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA DE
PNEUS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Maria das Vitórias Vieira de Almeida de Sá - Orientadora (UFRN)

Prof. Dr. Marcos Alissandro S. dos Anjos – Examinador Interno (PEC/UFRN)

Prof. Dr. Edilberto Vitorino de Borja - Examinador Externo à Instituição (IFRN)

Natal/RN, 15 de dezembro de 2015

Perder tempo em aprender coisas que não interessam, priva-nos de descobrir coisas que interessam.

Carlos Drummond de Andrade

AGRADECIMENTOS

À profa. Dra. Maria das Vitórias Vieira Almeida de Sá, pela indizível acolhida, desde o meu ingresso no curso de mestrado e em todo o processo de produção do texto, sempre contribuindo com suas intervenções pertinentes nesta pesquisa.

Aos professores Dr. Marcos Alissandro S. dos Anjos, e Dr. Edilberto Vitorino Borja, que, no papel de coorientadores, revelaram-se intelectualmente generosos no processo de escritura desta dissertação.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), pelo apoio institucional e concessão dos laboratórios para realização de todos os ensaios realizados na pesquisa.

RESUMO

Neste trabalho, avalia-se o desempenho de argamassas à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas tipo II com adição de pó de borracha de pneus inservíveis. Apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre o tema em que se faz a ancoragem teórico-metodológica de todo o processo investigativo. O universo analisado compreende uma amostra de argamassa para rejuntamento de placas cerâmicas tipo II convencional (amostra de referência) e de mais cinco amostras de argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas tipo II, compostas com adição de pó de borracha de pneus inservíveis, nas respectivas proporções (em massa) de 4, 8, 12, 16 e 20 %. Essas amostras de argamassas foram submetidas aos ensaios de determinação do índice de consistência (NBR 13276:2005), retenção de água (NBR 14992 Anexo B:2003), permeabilidade aos 240 minutos (NBR 14992 Anexo G:2003), absorção de água por imersão (NBR 9781:2013), resistência à compressão (NBR 14992 Anexo D:2003), resistência à tração na flexão (NBR 13279:2005), resistência de aderência à tração (NBR 14081 Parte 4:2012) e densidade de massa no estado endurecido (NBR 13280:2005). Constatou-se, a partir das análises dos resultados obtidos nos ensaios, a seguinte situação: a argamassa de referência utilizada atendeu às exigências estabelecidas nas normas de especificações correspondentes para apenas seis do total de oito parâmetros avaliados na pesquisa; a argamassa com adição de 4,0 % de pó de borracha de pneu atendeu às exigências estabelecidas nas normas de especificações correspondentes para, apenas, a resistência à compressão e a resistência de aderência à tração; as demais argamassas com adição de 8,0 %, 12,0 %, 16,0 % e 20,0 % de pó de borracha de pneu atenderam às exigências das normas de especificações correspondentes, apenas quanto à resistência de aderência à tração. Esse resultado evidencia a conclusão de que a adição de pó de borracha de pneu não confere melhoria de desempenho às argamassas de rejuntamento tipo II para assentamento de placas cerâmicas.

Palavras-Chave: Argamassa. Pó de borracha. Rejuntamento. Resíduo

ABSTRACT

In this work it is assessed the performance of Portland cement-based mortar to the grouting of type II ceramic plates with the addition of unusable tire rubber powder. It is presented a bibliographical review about the subject in which is done the theoretical and methodological foundation of the whole investigative process. The analyzed universe comprises a sample of mortar to the grouting of conventional ceramic plates type II (reference sample) and five more samples to the grouting of ceramic plates type II, which were made up of the addition of unusable tire rubber powder in the respective proportion (in mass) of 4%, 8%, 12%, 16% and 20%. These mortar samples were subject to the trials of determination of the consistency index (Brazilian Standard NBR 13276:2005), water retention (Brazilian Standard NBR 14992 Attachment B:2003), permeability in 240 minutes (Brazilian Standard NBR 14992 Attachment G:2003), absorption of water by immersion (Brazilian Standard NBR 9781:2013), resistance to compression (Brazilian Standard NBR14992 Attachment D: 2003), resistance to traction in the flexion (Brazilian Standard NBR 13279:2005), resistance of traction adherence (Brazilian Standard NBR 14081 part 4:2012) and hardened mass density (Brazilian Standard NBR 13280: 2005). It has been found out from the analyzes of the results in the trial the following situation: the reference mortar used met the established requirements in the norms of specifications corresponding to only six from the eight parameters assessed in the research; the mortar with addition of 4,0% of tire rubber powder met the established requirements corresponding to only the resistance to compression and the resistance of adherence to traction. Thus, the other kinds of mortar with addition of 8,0 %, 12,0 %, 16,0 % and 20,0 % of tire rubber powder met the requirements of specifications corresponding to only the resistance to compression and the resistance of adherence to traction. This result concludes that the adding of tire rubber powder does not grant improvement to the mortar of type II grouting to the laying of ceramic plates.

Key words: Mortar. Rubber powder. Grouting. Waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Partes constituintes de um pneu (VEIGA 2015).....	23
Figura 02 – Índice de consistência. NBR 13276:2005 - Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.....	36
Figura 03 – Retenção de água (aos 10 minutos). NBR 14992:2003 (Anexo B). AR – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	37
Figura 04 – Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	38
Figura 05 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013 (Anexo B) - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água.....	39
Figura 06 – Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	40
Figura 07 – Ensaio de resistência à tração na compressão da argamassa de rejuntamento de referência	42
Figura 08 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração.....	44
Figura 09 – Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.....	45
Figura 10 – Raspa bruta de borracha de pneu.....	46
Figura 11 – Composição granulométrica do pó de borracha de pneu com diâmetro inferior a 0,3 mm. NBR 248:2003. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Método de ensaio.....	48
Figura 12 – Material fino que passa através da peneira 75mm, por lavagem. NBR NM 46:2003. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.....	48
Figura 13 – Massa unitária. NBR NM 45:2006. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Método de ensaio. (Método C. Massa unitário no estado solto).....	49
Figura 14 – Índice de consistência. NBR 13276:2005. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios.....	52
Figura 15 – Retenção de água. NBR 14992:2003 Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	54
Figura 16 – Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	56
Figura 17 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013. (Anexo B) - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água.....	58

Figura 18 – Gráfico 06 – Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	60
Figura 19 – Resistência à tração na flexão. NBR 14992:2003 (Anexo E). Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	62
Figura 20 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração.....	65
Figura 21 – Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.....	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Composição granulométrica do pó de borracha de pneu com diâmetro máximo inferior a 0,3 mm. NBR 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Método de ensaio.....	47
Gráfico 02 – Índice de consistência. NBR 13276:2005. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios.....	51
Gráfico 03 – Retenção de água. NBR 14992:2003. Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	53
Gráfico 04 – Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	55
Gráfico 05 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013 (Anexo B). Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água.....	57
Gráfico 06 – Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	59
Gráfico 07 – Resistência à tração na flexão. NBR 14992:2003 (Anexo E). - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	61
Gráfico 08 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração.....	64
Gráfico 09 – Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Índice de consistência. NBR 13276:2005 - Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.....	36
Tabela 02 – Retenção de água (aos 10 minutos). NBR 14992:2003 - Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	37
Tabela 03 – Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	38
Tabela 04 – Tabela 04 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013 (Anexo B) - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água por imersão.....	39
Tabela 05 – Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	40
Tabela 06 – Resistência à tração na flexão. NBR 13279:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Método de ensaio.....	41
Tabela 07 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração.....	43
Tabela 08 – Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.....	45
Tabela 09 – Composição granulométrica do pó de borracha de pneu com diâmetro máximo inferior a 0,3 mm. NBR 248:2003. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Método de ensaio.....	47
Tabela 10 – Material fino que passa através da peneira 0,075 mm, por lavagem. NBR NM 46:2006. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem.....	48
Tabela 11 – Massa unitária. NBR NM 45:2006. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Método de ensaio. (Método C. Massa unitário no estado solto).....	49
Tabela 12 – Índice de consistência. NBR 13276:2005. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios.....	51
Tabela 13 – Retenção de água. NBR 14992:2003. Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	53
Tabela 14 – Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	55
Tabela 15 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013 (Anexo B). Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água.....	57
Tabela 16 – Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e	59

métodos de ensaios.....	
Tabela 17 – Resistência à tração na flexão. NBR 14992:2003 (Anexo E). - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	61
Tabela 18 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração.....	63
Tabela 19 – Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.....	66
Tabela 20 - Quadro-resumo dos resultados dos ensaios com as argamassas de rejuntamento de referência e as argamassas de rejuntamento de referência com adição de pó de borracha de pneu.....	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 GENERALIDADE.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	18
1.3 OBJETIVO GERAL.....	19
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – ESTADO DA ARTE	21
2.1 ESTADO DA ARTE.....	22
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 ENSAIOS REALIZADOS COM A ARGAMASSA DE REFERÊNCIA NO ESTADO FRESCO.....	30
3.2. ENSAIOS REALIZADOS COM A ARGAMASSA DE REFERÊNCIA NO ESTADO ENDURECIDO.....	30
3.3 ENSAIOS REALIZADOS COM O PÓ DE BORRACHA DE PNEU.....	31
3.4 ENSAIOS REALIZADOS COM AS ARGAMASSAS COM PÓ DE BORRACHA NO ESTADO FRESCO.....	32
3.5 ENSAIOS REALIZADOS COM AS ARGAMASSAS COM PÓ DE BORRACHA NO ESTADO ENDURECIDO.....	33
4 RESULTADOS DOS ENSAIOS	35
4.1 ARGAMASSA DE REFERÊNCIA (ARGAMASSA DE REJUNTAMENTO TIPO II).....	35
4.1.1 Índice de consistência.....	35
4.1.2 Retenção de água.....	37
4.1.3 Permeabilidade aos 240 minutos.....	38
4.1.4 Absorção de água por imersão.....	41
4.1.5 Resistência à compressão.....	42
4.1.6 Resistência à tração na flexão.....	41
4.1.7 Resistência de aderência à tração.....	42
4.1.8 Densidade de massa no estado endurecido.....	

	44
4.2 PÓ DE BORRACHA DE PNEU (DIÂMETRO MÁXIMO DE 0,3 MM).....	45
4.2.1 Granulometria.....	46
4.2.2 Material fino que passa na peneira de 0,075 mm, por lavagem.....	48
4.2.3 Massa unitária do pó de borracha com diâmetro inferior a 0,30 mm.....	49
4.3 ARGAMASSAS DE REJUNTAMENTO DE REFERÊNCIA E COM ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA DE PNEU	50
4.3.1 Índice de consistência.....	50
4.3.2 Retenção de água.....	52
4.3.3 Permeabilidade aos 240 minutos.....	54
4.3.4 Absorção de água por imersão.....	56
4.3.5 Resistência à compressão.....	58
4.3.6 Resistência à tração na flexão.....	60
4.3.7 Resistência de aderência à tração.....	62
4.3.8 Densidade de massa aparente no estado endurecido.....	65
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	68
5.1 QUADRO GERAL DOS RESULTADOS DA PESQUISA.....	68
5.1.1 Índice de consistência – NBR 13276/2005 - Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.....	69
5.1.2 Retenção de água - NBR 14992 Anexo B/2003 - Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	69
5.1.3 Permeabilidade aos 240 minutos - NBR 14992 Anexo G/2003 - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	70
5.1.4 Absorção de água por imersão - NBR 9781-B/2013 - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água.....	70
5.1.5 Resistência à compressão - NBR 14992 Anexo D/2003 - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.....	71
5.1.6 Resistência à tração na flexão - NBR 13279/2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Método de ensaio.....	72
5.1.7 Resistência de aderência à tração - NBR 14081-4/2012. Argamassa colante	

industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração.....	72
5.1.8 Densidade de massa no estado endurecido - NBR 13280/2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.....	72
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADE

O aumento progressivo da migração global das populações, especialmente a mobilização no eixo campo-cidade, é um processo que se intensificou no início do século XX, e a conseqüente demanda por moradias, decorrente desse processo migratório, ocasionou um expressivo e natural crescimento da produção de produtos cimentícios industrializados e tecnologias inovadoras dentro da Construção Civil.

Posteriormente, depois da Segunda Guerra Mundial, com a escassez de recursos e a destruição de extensas áreas residenciais e industriais – uma decorrência do conflito na Europa –, a indústria de insumos para a construção civil assumiu a responsabilidade de desenvolver argamassas com maior potencial de desempenho e custos bem menores. Nesse cenário, concebe-se a ideia de introduzir nas argamassas os produtos químicos, denominados aditivos, que são hoje amplamente utilizados em praticamente todos os produtos cimentícios.

No que diz respeito ao Brasil, considera-se relevante assinalar que as argamassas aditivadas para assentamento de revestimentos começaram a ser pesquisadas em 1964; não obstante, sua produção e sua comercialização somente alcançam efetividade em 1971, quando finalmente atingem uma produtividade significativa visando atender à grande demanda decorrente da intensificada aplicação de revestimentos cerâmicos, que, ao serem cada vez mais requisitados na construção civil, foram, necessariamente, assumindo novas especificações a fim de atenderem às exigências de todos os tipos de edificações (FIORITO, 1994).

Na recomposição desse percurso de evolução técnica das argamassas, vale registrar que já na segunda metade do século XX, alguns resíduos industriais passaram a ser introduzidos nos concretos e nas argamassas com significativo ganho de qualidade em suas propriedades. O fumo de sílica (subproduto da siderurgia na fabricação do aço silico), o metacaulim, as cinzas da queima de produtos orgânicos (como a casca de arroz e o bagaço da cana de açúcar), os chamotes, resultantes da moagem de resíduos cerâmicos, e o pó de beneficiamento de pedras ornamentais (como o mármore e o granito) compõem, entre outros, o catálogo de resíduos que se incluem, de modo intensivo, na fabricação das argamassas. Esses materiais, que se convencionou nomear de adições, classificadas como ativas ou inertes, ocupam, atualmente, o centro das inúmeras preocupações que atingem o homem contemporâneo. Uma das imposições que lhe são atribuídas é justamente a de encontrar a

solução adequada à reutilização/aplicação, na produção de argamassas, desses inúmeros resíduos, que aumentam à proporção que a atividade industrial – especialmente a de transformação – se desenvolve.

Os órgãos de defesa e controle ambiental têm dado relevância ao tema da obrigatoriedade da destinação adequada dos resíduos sólidos provenientes dos processos industriais e do descarte de bens de consumo inservíveis, sejam os produtos produzidos com matéria prima de difícil reciclagem e reaproveitamento ou os produtos que se apresentam inalteráveis por processos rápidos de biodegradação, cuja reciclagem, embora se faça possível, não se revela executável no sentido de sua rentabilidade, considerando-se a contrapartida das inúmeras demandas implicadas nesse empreendimento. Nessa temática, se incluem os resíduos de composição polimérica, designados genericamente de plásticos, resinas, borrachas sintéticas, elastômeros, etc.

Os pneus de borracha, enquadrados tipicamente como resíduo sólido de difícil reciclagem, e em particular, os dados estatísticos atestam o agravamento da situação, visto que, segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos – ANIP (2013), a produção nacional de pneus, considerando nessa menção as dez empresas associadas, atingiu no ano de 2013 a soma de 68,8 milhões de unidades; e isso sem contabilizar os pneus fabricados pelas demais empresas não-associadas nem tampouco aqueles oriundos das importações, que representam mais de 26,8 milhões de unidades. Orientando-se por essa estatística, em perspectiva, ao se considerar os últimos oito anos, pode-se deduzir que no Brasil, no decurso desse período, foram produzidos ou importados, aproximadamente, meio bilhão de pneus, um quantitativo que, por si mesmo, revela a grandeza do passivo ambiental que esses pneus podem gerar se descartados inadequadamente.

Esse é, na verdade, um motivo para grande preocupação, uma vez que coloca em pauta a emergência de uma situação insustentável, tendo em vista a evidente desproporção entre o enorme quantitativo de resíduos gerados em decorrência do descarte de pneus usados e a atual inexistência de processos economicamente viáveis para a reciclagem desses, ao menos em escala satisfatória.

É inegável que o segmento industrial de recuperação e reaproveitamento de pneus usados (processo designado de recauchutagem) contribui, mesmo que de maneira modesta, para mitigar as consequências do acúmulo de pneus descartados na natureza. Entretanto, na operação de recauchutagem, os pneus são reconformados com uso de uma retífica, gerando, assim, um sub-resíduo em forma de raspa. E mesmo que essa recauchutagem minimize o descarte de pneus, não podemos desconsiderar o fato de que a raspa de borracha gerada se

mantém como resíduo sólido a demandar uma destinação adequada e legal, de forma a satisfazer as exigências do Conselho Nacional do Meio Ambiente — CONAMA, que, em sua resolução n. 416, de 30 de setembro de 2009, estabelece que “pneus inservíveis dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental que pode resultar em sério risco ao meio ambiente e à saúde”. Essa mesma resolução considera, ainda em seu Art. 2º, Inciso VI, que a destinação ambientalmente adequada significa

procedimento técnico em que os pneus descaracterizados de sua forma inicial, e seus elementos constituintes são reaproveitados, reciclados ou processados por outras técnicas admitidas pelos órgãos ambientais competentes observando a legislação vigente e normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, e a minimizar os impactos ambientais adversos (RESOLUÇÃO 416, 2009, CONAMA).

A par dessa determinação legal e em observância às suas prescrições, faz-se necessário uma importante ressalva no sentido de chamar a atenção para o fato de que a raspa de pneu apresenta granulometria semelhante, em grande parte, às areias naturais secularmente usadas na fabricação das argamassas, o que indica a possibilidade de seu aproveitamento como adição em argamassas.

1.2 JUSTIFICATIVA

Diante do exposto, essa parece ser uma promissora revelação, na medida em que, não há como ignorar que o provimento de agregado natural (areia) para a indústria de argamassas destinadas para o assentamento e rejuntamento dos revestimentos cerâmicos enfrenta crescente dificuldade, dado o esgotamento das reservas naturais existentes nos limites geográficos de atuação dessas indústrias e das limitações de natureza ambiental, legal e econômica. Ampliando a visão sobre esse cenário e tendo como pano de fundo a lógica indiscutível da sustentabilidade, torna-se admissível acreditar na possibilidade de utilização de pó de borracha (resultante da recauchutagem de pneus) como adição na fabricação das argamassas, principalmente para as argamassas de rejuntamento de revestimentos cerâmicos. Subjacente a essa afirmação estão dois pressupostos convergentes: por um lado pressupõe-se que as patologias de deslocamento de painéis de revestimento cerâmico estão destacadamente associadas (entre outros fatores) à baixa resiliência das argamassas costumeiramente utilizadas, característica que limita a absorção das deformações de natureza hidrotérmica dos

revestimentos cerâmicos, decorrentes da exposição permanente aos ciclos alternados de variação de temperatura e umidade.

Por outro lado, infere-se que o pó de borracha, pela natureza de seu comportamento elástico, adicionado em frações adequadas às argamassas tradicionais, pode resultar num novo composto e a este conferir maior desempenho em relação à absorção de movimentações a que estão ciclicamente submetidos os painéis de revestimento cerâmico, especialmente os que compõem fachadas externas das edificações. É nesse contexto que se enxerga a viabilidade do pó de borracha de pneu como um material com potencialidade adequada para ser inserido na composição de argamassas de rejuntamento de revestimentos cerâmicos.

1.3 OBJETIVO GERAL

Todas as considerações anteriormente citadas apontam para a necessidade e a propriedade desta pesquisa, cujo propósito é avaliar o desempenho, a partir dos parâmetros tecnológicos prescritos em normas brasileiras, de uma argamassa de rejuntamento formulada a partir de uma argamassa para rejuntamento, industrializada, disponível no mercado da construção civil, em Natal–RN, (argamassa de referência) com adição de pó de borracha de pneu e confrontá-la com a argamassa de referência sem a adição do pó de borracha.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o alcance do objetivo geral, além da proposição principal de formulação de argamassas de rejuntamento de assentamento cerâmico, de caráter original, os seguintes aspectos são abordados por se tratarem de objetivos secundários inerentes a efetivação do estudo:

- Avaliação da influência no proporcionamento do resíduo de pneu em cinco variações visando identificar a argamassa de melhor desempenho;
- Avaliação dos ensaios de determinação do índice de consistência, retenção de água, permeabilidade aos 240 minutos, absorção de água por imersão, resistência à compressão, resistência à tração na flexão, resistência de aderência à tração e densidade de massa no estado endurecido;
- Avaliação dos resultados obtidos frente às exigências normativas referente ao assunto.

1.5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Constrói-se, nesta dissertação, um estudo sobre o objeto da proposição da pesquisa, que será contemplado, em seus diversos aspectos ao longo de cinco capítulos, incluindo-se, nessa totalidade, esta introdução (nomeadamente o primeiro capítulo), em que se apresenta a temática, a justificativa, o objetivo geral e objetivos específicos.

No segundo capítulo, designado revisão bibliográfica, se apresenta o estado da arte, visando ao descobrimento de um saber técnico relacionado às possibilidades da utilização do pó de borracha de pneu como adição na formulação de compósitos, especialmente os de base cimentícia, o que também responderá pelo embasamento da pesquisa, no que concerne a esse conhecimento, considerando, para tanto, o aval dos discursos autorizados, em que se fará ancoragem para consolidar, com a devida propriedade, as proposições.

No terceiro capítulo, materiais e métodos, procede-se, em primeira instância, a identificação dos materiais de partida e sua caracterização (a argamassa industrializada para rejuntamento e revestimento cerâmico – argamassa de referência – e o pó de borracha de pneu).

Dispondo-se dos dados oriundos dos ensaios realizados, no quarto capítulo – intitulado “ensaios e resultados” –, procede-se ao registro dos achados obedecendo sempre à cronologia da realização dos referidos ensaios, descrevendo-se as relações de interdependência, estabelecidas em função da metodologia adotada para o sequenciamento das rotinas definidas para a execução de cada ensaio.

No quinto capítulo, denominado “discussão dos resultados”, apresentam-se as considerações apreciativas à luz dos resultados obtidos e proposição do estudo, sob a regência das especificações de caráter normativo da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – para Argamassas de Rejuntamento (AR).

2 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA – ESTADO DA ARTE

Conforme a NBR 13281/2005, define-se argamassa como uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s) aglomerante(s) e água, contendo ou não aditivos com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).” Entre os vários tipos de argamassa atualmente utilizados está a argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas, normatizada através da NBR 14992/2003

Essas configurações modernas das argamassas, no entanto, fincam suas raízes em um passado remoto que coloca o homem primitivo como agente do processo de produção, posto que, em prol de sua sobrevivência, já se utilizava de materiais de similar serventia (uma mistura de argilas plásticas com areia e água, simplesmente) na confecção de utensílios rudimentares e na construção de seus primeiros abrigos.

À proporção que esse homem primitivo foi se desenvolvendo, também foram sendo redimensionadas suas necessidades de moradia, o que, em consequência, o impulsionou a buscar novos materiais a serem adicionados à simples mistura de argila, areia e água. Desse estágio em diante, as argamassas foram evoluindo em sua composição.

No Brasil, bem no início do período colonial, as argamassas utilizadas eram simplesmente uma mistura de areia com argilas plásticas aglutinantes, que viabilizaram a construção dos primeiros casarios de materiais simples dando origem às primeiras cidades brasileiras. A utilização de argilas para fabricação de argamassas, embora, cada vez em menor escala, se mantém até hoje como alternativa em construções de baixo custo em zonas rurais menos favorecidas.

A primeira evolução na fabricação das argamassas, no Brasil, ocorreu no ano de 1549 por iniciativa do então governador geral, Tomé de Souza, que ordenou a criação da primeira mineração de calcário para fabricação de cal e argamassa na cidade de Salvador da Bahia, que viria a ser a capital do domínio português nas Américas. A partir de então, foram-se instalando por todo o Brasil inúmeras caieiras rudimentares, mas o Brasil só veio a ter uma indústria de cal estruturada a partir da década de 1950, com o surgimento da Wood Fired em Sorocaba – SP, pertencente a S.A.I Votorantim. (AZBE,1945).

No início do século 20, instalaram-se no Brasil as primeiras fábricas de cimento Portland, material este que, associado à cal, vai se constituir em um dos principais insumos para a fabricação das argamassas atualmente utilizadas, e com importantes ganhos em relação às suas principais propriedades, especialmente a durabilidade (AZBE,1945).

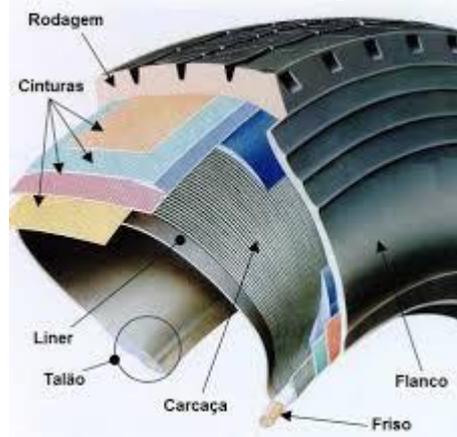
A crescente demanda de argamassa provocada pela expansão das cidades brasileiras, associada às exigências estabelecidas pelo maior padrão das construções resultou na busca incessante do aprimoramento sistemático na formulação e fabricação desse material. A temática das argamassas passou, então, a partir da década de 1950, a ser abordada nos manuais, compêndios e currículos do ensino da engenharia, além de se fazer presente na esfera do planejamento e execução da indústria da construção civil. Essa evolução foi, gradualmente, se consolidando e atingiu um novo estágio na década de 1970 com o início, no país, da produção das argamassas industrializadas para assentamento de revestimento cerâmico e, posteriormente, das argamassas industrializadas para múltiplas aplicações, que incorporaram a tecnologias dos aditivos químicos (recém desenvolvidos) em suas formulações (FIORITO, 1994). Ainda conforme esse autor, a popularização e invasão dos ladrilhos cerâmicos como alternativa com maior desempenho nos revestimentos de piso, em relação à madeira, aos ladrilhos hidráulicos e às argamassas de cimento e areia até então utilizadas para este fim, provocou como consequência nova demanda, a de um novo tipo de argamassa para a função de preenchimento das juntas de assentamento dos revestimentos cerâmicos, até essa época executados com pasta de cimento de pouco desempenho. Iniciou-se, assim, a fabricação das argamassas à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas, atualmente produzidas e normatizadas pela ABNT como do tipo I e do tipo II.

Atualmente, é significativo o número de pesquisas realizadas com vistas à obtenção de argamassas que apresentem maior desempenho associado à redução do custo a partir da adição de materiais diversos; entre esses se destaca o pó de borracha de pneus inservíveis. Em sua maioria, as pesquisas para as quais foi utilizado o pó de borracha de pneus como adição buscaram a obtenção de argamassas com propriedades mais adequadas às aplicações específicas, a partir da avaliação comparativa entre argamassas convencionais tomadas como de referência e as argamassas com adição de pó de borracha.

2.1 ESTADO DA ARTE

O pneumático, invento útil e necessário para o desenvolvimento de qualquer nação, é sem dúvida um instrumento que proporciona conforto à rodagem de veículos terrestres automotores entre outros. Simplificadamente denominado de pneu, o pneumático é um tubo de borracha cheio de ar e ajustado ao aro da roda do veículo, permitindo a tração do veículo e, ao mesmo tempo, absorvendo os choques com o solo sobre o qual o veículo trafega (Figura 1).

Figura 01 - Partes constituintes de um pneu (VEIGA 2015)



Com a revolução no setor dos transportes e a evolução da tecnologia dos pneus, sua utilização trouxe consigo a problemática do impacto ambiental, uma vez que a maior parte dos pneus inservíveis são descartados em locais inadequados, causando sérios problemas ambientais, afetando a saúde e a qualidade de vidas humanas. Uma alternativa encontrada para minimizar este problema ambiental trata da incorporação de resíduos de pneu, seja em forma de lascas ou em pó, em compósitos cimentícios. Pesquisas que tratam da inclusão de resíduos de pneu em compósitos cimentícios deve ser conduzida de modo a garantir a correta avaliação dos parâmetros que comandam e norteiam as melhorias ou alterações nas propriedades desses compósitos. Dentre as características dos compósitos cimentícios esperadas pela inserção do resíduo de pneus estão a *flexibilidade*, *elasticidade* e *capacidade* de absorver energia e impacto. Esses dois últimos aspectos foram significativamente citados por diversos autores, que veem nessas propriedades as principais alternativas de aplicação do concreto com resíduos de pneu.

Meneguini (2003), avaliando o comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha a partir de uma argamassa de referência de cimento (tipo CP II-E 32) e areia (com diâmetro máximo de 2,4 mm) nos traços de **1 : 3** - **1 : 5** e **1 : 7**, em massa, e substituindo, respectivamente, 3,33 %, 2,00 % e 1,40 % da areia por pó de borracha (com diâmetro máximo de 1,2 mm) lavado com uma solução saturada de hidróxido de sódio e adotando fator água cimento de (0,33 para o traço de **1 : 3**), (0,54 para o traço de **1 : 5**) e (0,60 para o traço de **1 : 7**), relata que, para a argamassa no traço de **1 : 3**, houve um acentuado aumento no índice de consistência da argamassa com pó de borracha em relação à argamassa de referência de 94 % e que, para as argamassas nos traços de **1 : 5** e **1 : 7**, houve apenas um leve aumento no índice de consistência da argamassa com pó de borracha em relação à argamassa de referência, sem quantificá-los percentualmente. O referido autor também concluiu que com o tratamento

superficial com hidróxido de sódio comercial, utilizando-se no pó de borracha, houve um aumento de adesão entre a argamassa e o pó de borracha, notados nos ensaios de absorção de água por capilaridade e no ensaio de desgaste por abrasão e que esse tratamento confere melhora na trabalhabilidade das argamassas.

Albano *et al.* (2005) produziram concreto utilizando resíduos de pneus automotivos em substituição parcial ao agregado miúdo. Nesse estudo analisa-se a influência do resíduo de pneu no concreto a partir de ensaios destrutivos e não-destrutivos de modo a enquadrá-lo numa possível aplicação dentro da construção civil. Foram elaborados concreto convencional, substituindo parte do agregado miúdo por borracha de pneu (5% e 10% em massa). As dimensões das partículas do agregado miúdo utilizado (areia e borracha) foi de 0,29mm e 0,59mm, em dosagens distintas. O agregado de borracha foi inserido na massa cimentícia sem tratamento e em formulações com resíduo tratado com NaOH e silane (A-174). No estado fresco foram analisadas as propriedades de *slump*, segregação, densidade e retração. De acordo com os resultados obtidos no estado plástico, observou-se que o aumento de volume de borracha ocasionou uma redução na fluidez e densidade, porém com uma distribuição homogênea entre os materiais, não sendo observado a ocorrência do fenômeno de segregação. No estado endurecido constatou-se uma drástica redução na resistência à compressão e à tração, em particular no concreto com 5% de borracha e de diâmetro de 0,59mm. O mesmo comportamento foi observado quando deu-se o tratamento no resíduo de borracha. Explica-se este fenômeno pela grande quantidade de vazios intersticiais entre a partícula de borracha e a pasta cimentícia, enfraquecendo mais ainda a zona intersticial e, conseqüentemente, a sua resistência mecânica. Os autores relatam ainda sobre a insignificante variabilidade das propriedades dos compósitos produzidos com resíduo tratado com os produzidos sem nenhum tratamento.

Turatsinze *et al.* (2007) conduziram o estudo objetivando obtenção de compósito de elevada capacidade de deformação antes do surgimento de fissuração, utilizando agregados de resíduo de pneu por apresentarem baixo módulo de elasticidade. O resíduo de pneu foi inserido em argamassas, observando-se que a mesma apresentou baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração por deformação antes do aparecimento de macro fissuras. Não obstante, com prejuízo da resistência. Resultados também confirmaram que as alterações no comportamento do compósito com a incorporação de borracha dão-se principalmente devido ao fenômeno de retração. Os autores ressaltam ainda que o aumento da capacidade de deformação, devido a incorporação do resíduo de borracha, compensa

largamente as alterações das dimensões ocasionadas pela retração, pelo menos até o surgimento apenas de microfissuras.

Rodrigues e Ferreira (2009) investigaram as propriedades de compósitos contendo a adição de partículas de borracha oriundas da trituração mecânica de pneus inservíveis em uma matriz de cimento Portland, com propriedades adequadas à produção de painéis cimentícios. Após classificação quanto a granulometria, objetivando a melhor compactidade, as partículas de borracha foram aglomeradas com pasta de cimento Portland contendo adições à base de látex em emulsão e aditivos superplastificantes para redução da água de emassamento e adequada fluidez. Para o estudo foram confeccionadas placa tipo *drywall*, armada com tela de fibra de vidro, para realização de ensaios de flexão, com dimensões de 50cm x 50cm. Os autores recomendaram o uso de aditivo ou adição visando à redução da relação água/cimento e a conseqüente melhoria da aderência entre a matriz e partículas de borracha. O comportamento pós-ruptura da matriz cimentícia com borracha sofreu incremento no valor da carga de ruptura da matriz, com significativas deformações, denotando grande ductilidade desse material.

Santos (2012) em seu trabalho de dissertação de mestrado, aborda o uso de resíduos de borracha de pneus em compósitos cimentícios fabricados com cimento Portland, substituindo o agregado de quartzo objetivando seu efeito nas propriedades mecânicas. Os resultados permitiram concluir que quanto maior o teor de borracha de pneus incorporado nos compósitos cimentícios maior a redução nas propriedades tais como: densidade aparente, resistência à compressão, módulo de elasticidade estático além de promover um aumento da porosidade aparente, absorção de água e permeabilidade. O autor notou ainda, através de micrografias, que a formação de poros maiores e em maiores quantidades se deu em compósitos com maior presença de partículas de borracha de pneus, sendo possível também detectar a ação da água na pasta cimentícia, verificando a hidratação ou não do cimento Portland, finalizando seu trabalho vislumbrando o uso de compósito cimentício com borracha em elementos não estruturais para a construção civil.

Nacif *et al* (2012) desenvolveram pesquisa em compósitos cimentícios com a inclusão de resíduos de borracha com o intuito de avaliar os efeitos oriundos dessa inclusão em frações compreendidas entre 0,84/058mm e 0,28/0,18mm e frações em massa na ordem de 5%, 15% e 30% e variações também na relação água/cimento de 0,35 e 0,50. Sobre as propriedades físico-mecânicas desses compósitos os autores concluíram que a interação do tamanho das partículas de borracha, quantidade presente no compósito e a relação água/cimento afetam significativamente na densidade e na resistência do compósito. Os autores relatam ainda que

quando a fração da borracha foi aumentada, a densidade aparente do compósito reduziu devido a baixa densidade ($0,9 \text{ g/cm}^3$) em comparação com a matriz do cimento ($2,3 \text{ g/cm}^3$). A baixa densidade da pasta de cimento emborrachada evidencia ser vantajoso quando se deseja produzir compósitos com isolante térmico e acústico.

Jing Lv *et al.* (2015) investigaram o efeito da borracha nas propriedades mecânicas do concreto leve em onze diferentes dosagens. As partículas de borracha foram inseridas em substituição parcial ao volume de areia nas proporções de 10% a 100%, concluindo, com base nos resultados da pesquisa, que as incorporações das partículas de borracha afetaram profundamente, de forma não benéfica, sobre as propriedades mecânicas e no *slump* do compósito, beneficiando apenas na densidade que teve uma significativa redução quando comparado a dosagem do concreto sem o resíduo da borracha, variando de 1321 kg/m^3 a 1820 kg/m^3 . Relata-se também que a redução do módulo de elasticidade estático indica uma alta flexibilidade do compósito, que pode ser considerado como uma vantagem (ganho positivo) nos concretos leves com borracha.

Angelin *et al* (2015) focaram seus experimentos na investigação da inter-relação entre a resistência /porosidade em pasta de cimento e argamassa com resíduo de borracha em função da morfologia dos grãos de borracha, constatando uma forte inter-relação entre a resistência à flexão, resistência à compressão e resistências específicas com a porosidade e a absorção de água em uma formulação padrão e 04 (quatro) formulações distintas de pastas de cimento e argamassas com incorporação de borracha. Foi observado uma distribuição bimodal na morfologia dos poros variando entre irregular e esferoidal.

Esta tendência tem diminuído com o aumento da quantidade de borracha. A inter-relação entre a resistência e a porosidade se revela como uma relação inversa, ou seja, aumento da porosidade ocasiona uma redução na resistência à compressão e à flexão. Entretanto, os resultados demonstraram que argamassas com 5% de borracha na sua composição demonstram propriedades interessantes para um grande número de aplicações dentro da engenharia, como por exemplo, em pavimentos flexíveis, nas fachadas das construções e nos sistemas de purificação de água.

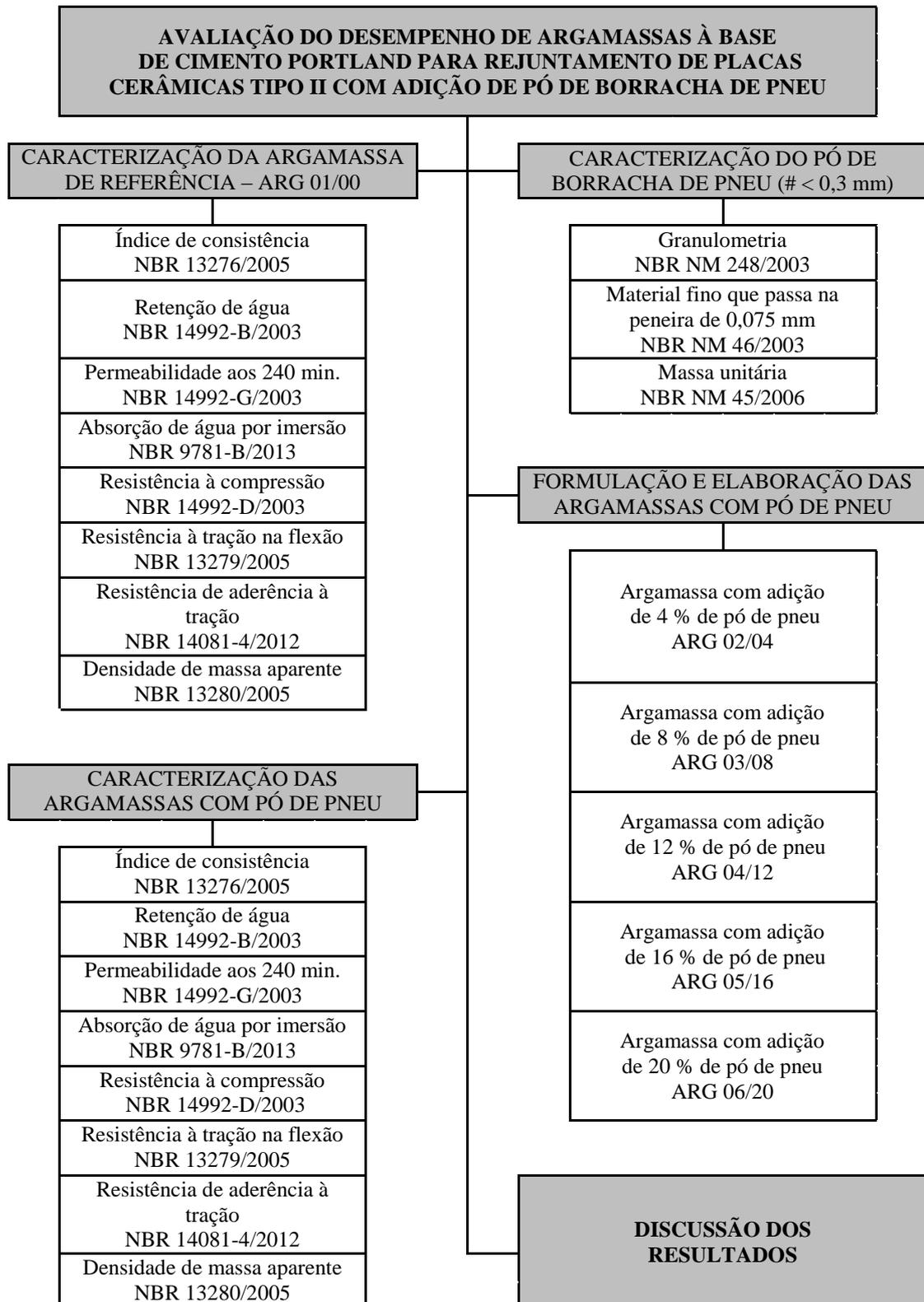
Afshinnia and Poursaee *et al* (2015) direcionaram sua pesquisa experimental no estudo do efeito de lascas de pneu na redução da expansão causado pela reação álcali-silica em corpos de prova de argamassas preparadas com agregado de alta reatividade. Nesse estudo, barras de argamassa contendo 0%, 16% e 24% de lascas de borracha em substituição parcial do agregado miúdo, em volume, foram moldados para submissão em testes com aceleradores da reação. Os resultados desse estudo indicaram que o uso de 16% e 24% de

lascas de borracha como agregado miúdo reduziu a reação de expansão álcali-sílica em barras de argamassas em 43% e 39%, respectivamente. Esta redução da reação de expansão álcali-sílica foi atribuída ao comportamento elástico das lascas de borracha, que pode absorver internamente as tensões de expansão causada por pelo efeito do gel da reação álcali-sílica na microestrutura da argamassa. Entretanto, a resistência à compressão realizado em corpos de prova cúbicos contendo 16% e 24% de lascas de pneu reduziram a resistência à compressão, em 20% e 47%, aos 28 dias, respectivamente. Atribuiu-se o efeito negativo nessa propriedade à fraqueza da ligação (aderência) entre as partículas de borracha e a pasta de cimento, bem como do baixo módulo de elasticidade das partículas de borracha quando comparadas com o agregado miúdo natural.

As partículas de borracha absorvem a energia de liberação do processo de reação álcali-sílica nas barras de argamassas, e reduzem o efeito de expansão ocasionado por esta reação. Devido a propriedades elástica das partículas de borracha, menos fissuras foram detectadas nas superfícies dos corpos de prova com borracha, comparado com os corpos de prova de controle.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para uma visão geral sobre a metodologia pela qual se orientou esta pesquisa, apresenta-se o seguinte fluxograma como representativo deste capítulo.



Para o desenvolvimento desta pesquisa, definiu-se, inicialmente, um problema circunscrito ao descolamento de placas dos revestimentos cerâmicos das fachadas externas dos edifícios, uma ocorrência definida como patologia (MEDEIROS, 2006), considerando-se que se trata de um desvio convencionado fora dos padrões de normalidade no âmbito da construção civil. No caso ora em estudo, remetemos ao descolamento constante dessas placas, fenômeno que, na literatura especializada, é nomeado de *Patologia dos sistemas de revestimento cerâmico* (MAS, 1999).

Como se tornam sistematicamente reincidentes os casos em que se contempla esse tipo de patologia, o que, aliás, se vai revelando um processo cada vez mais comum nas diversas regiões do Brasil, constata-se a necessidade de uma tomada de providências para o efetivo enfrentamento do mencionado problema. Essa é justamente a preocupação que vem movendo a esfera de atividades técnicas em busca de soluções para a superação de tamanho desafio.

Delimitado o problema, passou-se à ponderação dos pressupostos associados à sua postulação. Em primeiro lugar, pressupomos que as patologias de deslocamento de painéis de revestimento cerâmico, especialmente os das fachadas externas das edificações, estão relacionadas à baixa resiliência das argamassas; em segundo lugar, pressupomos que o pó de borracha, adicionado em frações adequadas às argamassas tradicionais, pode conferir-lhes maior desempenho em relação à absorção das possíveis movimentações a que se submetem os referidos painéis. A ancoragem em tais inferências induz-nos a admitir, com ampla probabilidade de acerto, o fato de que esse processo de deslocamentos está, particularmente, associado ao desempenho das argamassas de rejuntamento.

A admissão dessa probabilidade foi determinante para a nossa decisão de avaliar o desempenho das argamassas de rejuntamento com adição de pó de borracha de pneu, começando pela definição e escolha de uma argamassa de rejuntamento industrializada que deveria funcionar como argamassa de referência.

Considerando essa perspectiva, optou-se por uma argamassa para rejuntamento tipo II (NBR 14992 – A.R. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios). A amostra de campo dessa argamassa (100 kg, acondicionados em embalagens plásticas de 1 kg, com indicação da mesma data de fabricação e instruções de uso) foi obtida via compra no comércio varejista de materiais de construção em Natal.

Feita a aquisição do material-base (a argamassa de referência), procedeu-se à realização dos ensaios dessa argamassa no estado fresco e endurecido.

3.1 ENSAIOS REALIZADOS COM A ARGAMASSA DE REFERÊNCIA NO ESTADO FRESCO:

- a) índice de consistência. NBR 13276/2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Preparo da mistura e determinação do índice de consistência;
- b) retenção de água. NBR 14992 Anexo B/2003 - A.R. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas. Requisitos e métodos de ensaios.

3.2. ENSAIOS REALIZADOS COM A ARGAMASSA DE REFERÊNCIA NO ESTADO ENDURECIDO:

- a) permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992 Anexo G/2003 - A.R. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios;
- b) absorção de água por imersão. NBR 9781/2013 - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios.
- c) resistência à compressão. NBR 14992 Anexo D/2003 - A.R. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios;
- d) resistência à tração na flexão. NBR 14992 Anexo E/2003 - A.R. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios;
- e) resistência de aderência à tração. NBR 14081-4/2012 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração;
- f) densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280/2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da densidade de massa no estado endurecido. Método de ensaio.

3.3 ENSAIOS REALIZADOS COM O PÓ DE BORRACHA DE PNEU

Quanto ao pó de borracha de pneu a ser utilizado como adição à argamassa de referência, considerou-se pertinente usar um pó com diâmetro máximo inferior a 0,3 mm, obtido por peneiramento a partir de uma raspa bruta de borracha de pneu (grãos ou fibras com diâmetro ou comprimento de até 50 mm) fornecida gratuitamente pela Renovadora de pneus VIPAL Borrachas – Pneu Forte, situada na BR 304 km 303, Distrito Industrial Macaíba-RN.

Vale esclarecer ainda que, nesse processo, a fração graúda (diâmetro superior a 0,3 mm) da raspa bruta de pneu, correspondente a 84 % da amostra de campo (300 kg), foi descartada e que, nos estudos preliminares, identificamos também que a raspa de borracha bruta, produzida pela mesma empresa fornecedora, não apresentava uniformidade em sua composição granulométrica.

A amostra restante (amostra de ensaio), constituída de pó de borracha com diâmetro máximo inferior a 0,3 mm, foi submetida a três ciclos de lavagem (cada ciclo com duração de 5 minutos) com água potável e sabão antiespumante em pó de uso doméstico, na proporção de 1 kg de sabão para 50 litros de água, em uma betoneira de eixo inclinado (betoneira de laboratório), sendo a secagem realizada em ambiente de laboratório até a constância de massa.

Já dispondo do pó de borracha assim configurado, realizou-se os seguintes ensaios:

- a) granulometria. NBR NM 248/2003 - Agregados. Determinação da composição granulométrica;
- b) material fino que passa na peneira de 0,0075 mm por lavagem. NBR NM 248/2003. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira de 0,075 mm, por lavagem.
- c) massa unitária do pó de borracha. NBR NM 45/2006. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Método de ensaio.

No passo seguinte, estabeleceu-se as dosagens da argamassa de referência com as adições do pó de borracha de pneu, resultando num total de seis amostras, que se constituíram no universo material da pesquisa, pormenorizadamente descrito abaixo:

- a) a primeira amostra de ensaio, que designou-se de amostra de ensaio 01/ARG.00, constituiu-se da argamassa de referência, preparada sem nenhuma adição de pó de borracha;

- b) a segunda amostra de ensaio, que designamos de amostra de ensaio 02/ARG.04, resultou de uma amostra da argamassa de referência acrescida da adição do pó de borracha na proporção de 4 % em massa em relação à argamassa de referência;
- c) a terceira amostra de ensaio, que designamos de amostra de ensaio 03/ARG.08, foi obtida a partir de uma amostra da argamassa de referência acrescida da adição do pó de borracha na proporção de 8 % em massa em relação à argamassa de referência;
- d) a quarta amostra de ensaio, que designamos de amostra de ensaio 04/ARG.12, derivou-se de uma amostra da argamassa de referência acrescida da adição do pó de borracha na proporção de 12 % em massa em relação à argamassa de referência;
- e) a quinta amostra de ensaio, que designamos de amostra de ensaio 05/ARG.16, correspondeu a uma amostra da argamassa de referência acrescida da adição do pó de borracha na proporção de 16 % em massa em relação à argamassa de referência;
- f) a sexta amostra de ensaio, que designamos de amostra de ensaio 06/ARG.20, foi obtida a partir de uma amostra da argamassa de referência acrescida da adição do pó de borracha na proporção de 20 % em massa em relação à argamassa de referência.

Definidas as dosagens de ensaio, passamos, então, ao processo de preparação, em laboratório, das argamassas que foram, posteriormente, submetidas aos seguintes ensaios:

3.5 ENSAIOS REALIZADOS COM AS ARGAMASSAS COM PÓ DE BORRACHA NO ESTADO FRESCO:

- a) índice de consistência. NBR 13276/2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Preparo da mistura e determinação do índice de consistência;
- b) retenção de água. NBR 14992 Anexo B/2003 - A.R. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas. Requisitos e métodos de ensaios.

3.5 ENSAIOS REALIZADOS COM AS ARGAMASSAS COM PÓ DE BORRACHA NO ESTADO ENDURECIDO:

- a) permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992 Anexo G/2003 - A.R. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios;
- b) absorção de água por imersão. NBR 9781/2013 - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios.
- c) resistência à compressão. NBR 14992 Anexo D/2003 - A.R. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios;
- d) resistência à tração na flexão. NBR 14992 Anexo E/2003 - A.R. Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios;
- e) resistência de aderência à tração. NBR 14081-4/2012 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração;
- f) densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280/2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da densidade de massa no estado endurecido. Método de ensaio.

Vale esclarecer que cada amostra (uma amostra para cada parâmetro da argamassa a ser avaliado) de ensaio foi preparada no laboratório de materiais de construção do IFRN (Campus central Natal-RN), utilizando-se para o processamento da amostra, 2 kg (dois) da argamassa industrializada (argamassa de referência), de forma a garantir um volume de argamassa fresca, suficiente para moldagem dos corpos de prova necessários a cada ensaio.

Com esses corpos de prova já moldados, e após submetê-los à cura, segundo cada método de ensaio normatizado correspondente, procedeu-se à realização dos ensaios, tão logo os referidos corpos de prova atingiram as idades estabelecidas para cada ensaio.

Finalizados os ensaios, foi dado início às análises dos resultados obtidos em todo o processo, contemplando, nessa fase, exclusivamente a variação das propriedades das argamassas com adição do pó de borracha de pneu, tomando sempre como base a argamassa de referência e ainda observando a conformidade ou não com os requisitos estabelecidos pela norma NBR 14992.

Numa análise final, retornou-se aos dados para, numa inspeção geral e bem mais exaustiva, poder assegurar o alcance do nosso propósito investigativo revelando se, de fato, o pó de borracha de pneu, adicionado à argamassa de rejuntamento convencional, conferiu melhoria em suas propriedades, resultando, portanto, em um melhor desempenho das argamassas com a adição do pó de borracha.

4 ENSAIOS E RESULTADOS

4.1 ARGAMASSA DE REFERÊNCIA (ARGAMASSA DE REJUNTAMENTO TIPO II)

Apresenta-se, inicialmente, os resultados dos ensaios de caracterização tecnológica realizados com a argamassa de referência (argamassa industrializada à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas tipo II - flexível - designado neste trabalho de ARG 01/00).

A argamassa de rejuntamento (A.R.) utilizada foi do tipo II, amassada, adotando-se a proporção de água / A.R. anidro de 0,33 recomendado, pelo fabricante, na embalagem.

4.1.1 Índice de consistência

Para a obtenção do índice de consistência, adotou-se o método prescrito na NBR 13276: 2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e teto - preparo da mistura e determinação do índice de consistência, em razão de não haver (no âmbito da ABNT) método de ensaio específico para índice de consistência para argamassa de rejuntamento (A.R.).

O preparo das misturas das argamassas para ensaio obedeceu ao que estabelece a norma 14992:2003 (Anexo A). AR – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios.

Numa avaliação visual, a argamassa de rejuntamento A.R. preparada apresentou trabalhabilidade adequada à execução de rejuntamento de placas cerâmicas, tanto em relação ao preenchimento das juntas de assentamento quanto à textura superficial.

Não há normas de requisitos na ABNT para índice de consistência das argamassas de rejuntamento. Índices de consistência medidos em argamassas de rejuntamento aplicadas em cinco obras de edifícios em Natal/RN, no período das pesquisas variaram entre 260 a 300mm.

Para a avaliação de todos os demais parâmetros da argamassa de rejuntamento de referência avaliada, adotou-se um mesmo índice de consistência de 280 mm.

Tabela 01 – Índice de consistência. NBR 13276:2005 - Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.

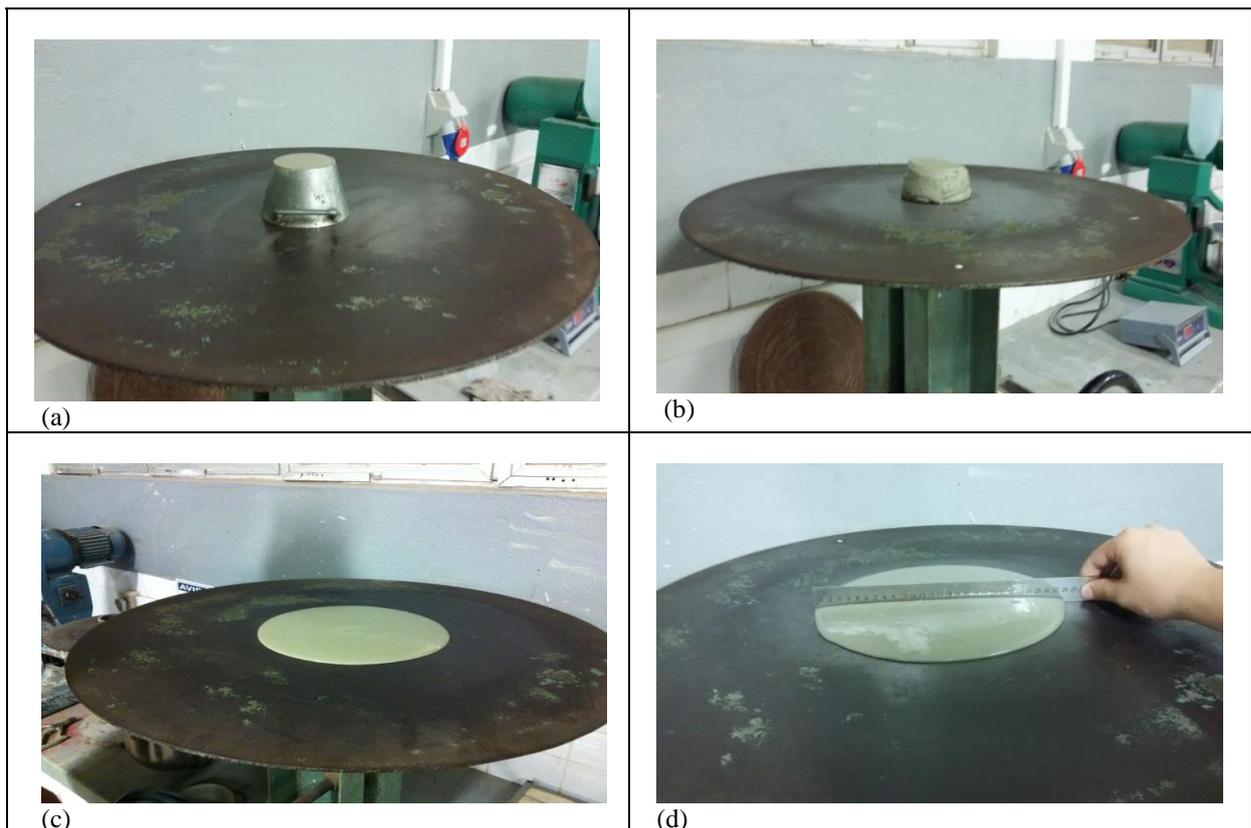
Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (Valor individual)	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	mm	mm
01/ARG.00	01	0,33	0,0	278	280
	02			280	
	03			283	

Figura 02 – Índice de consistência. NBR 13276:2005 - Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.

Registro fotográfico do ensaio de consistência com a argamassa de referência ARG 01/00

(a) Molde tronco de cone e mesa de espalhamento; (b) Tronco de cone de argamassa; (c) Espalhamento da argamassa fresca na mesa de espalhamento após 30 golpes na mesa de espalhamento; (d) Medição do índice de consistência da argamassa.



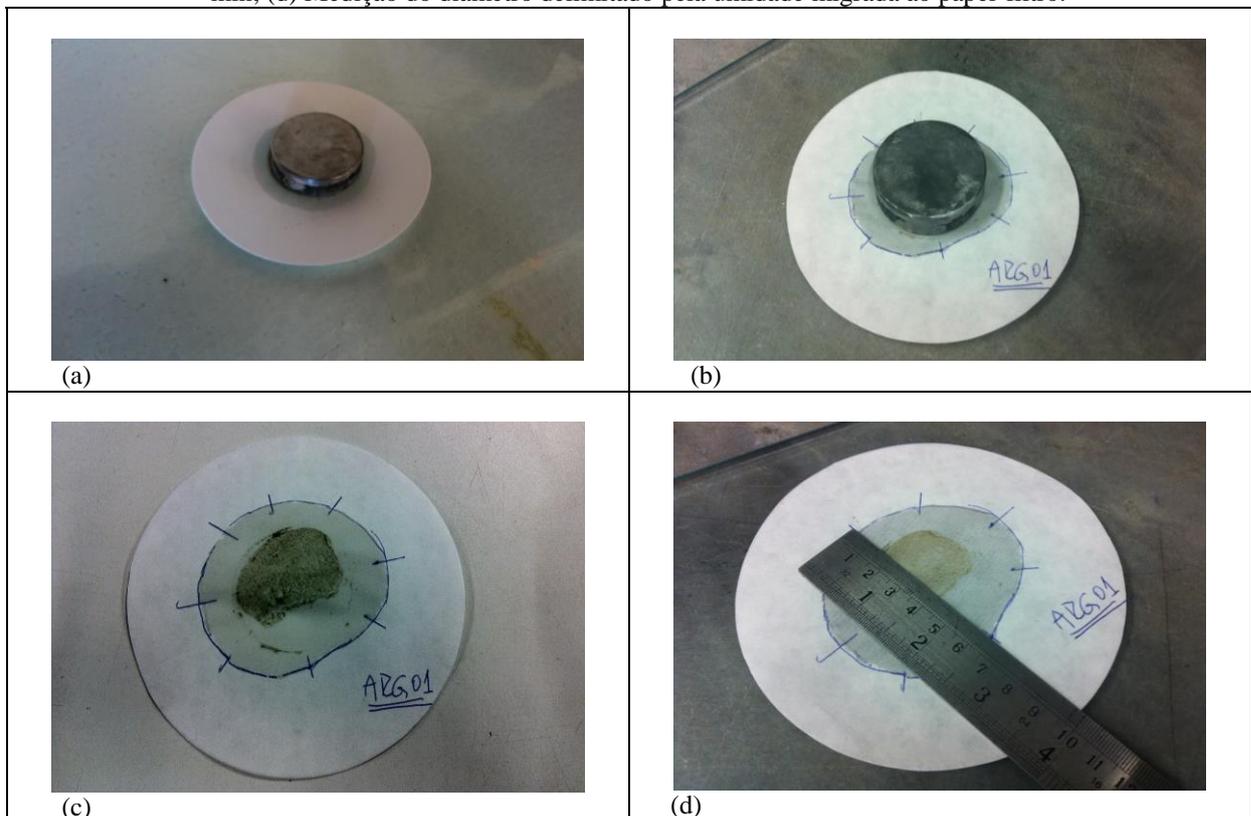
4.1.2 Retenção de água

Para a determinação da retenção de água da argamassa de rejuntamento de referência, adotou-se o método prescrito na NBR 14992:2003 (Anexo B). AR – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. Essa norma estabelece que as argamassas de rejuntamento (tipo II) devem apresentar retenção de água menor ou igual a 65 mm aos 10 minutos.

Tabela 2 – Retenção de água (aos 10 minutos). NBR 14992:2003 - Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	RETENÇÃO DE ÁGUA (Valores individuais)	RETENÇÃO DE ÁGUA AOS 10 MINUTOS (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	mm	mm
01/ARG.00	01	0,33	0,0	64,1	64,1
	02			63,9	
	03			64,2	

Figura 03 – Retenção de água (aos 10 minutos). NBR 14992:2003 (Anexo B). AR – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Registro fotográfico dos ensaios: (a) Copo cilíndrico metálico, papel-filtro (filtração média) e placa de vidro; (b) Delimitação da umidade migrada ao papel-filtro de filtração média; (c) Aspecto do papel-filtro após 10 min; (d) Medição do diâmetro delimitado pela umidade migrada ao papel-filtro.



4.1.3 Permeabilidade aos 240 minutos

Para a realização desse ensaio, observou-se o que estabelece a NBR 14992:2003 (Anexo G). AR – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.

Esta norma estabelece que as argamassas de rejuntamento (tipo II) devem apresentar permeabilidade aos 240 minutos menor ou igual a 1 cm³.

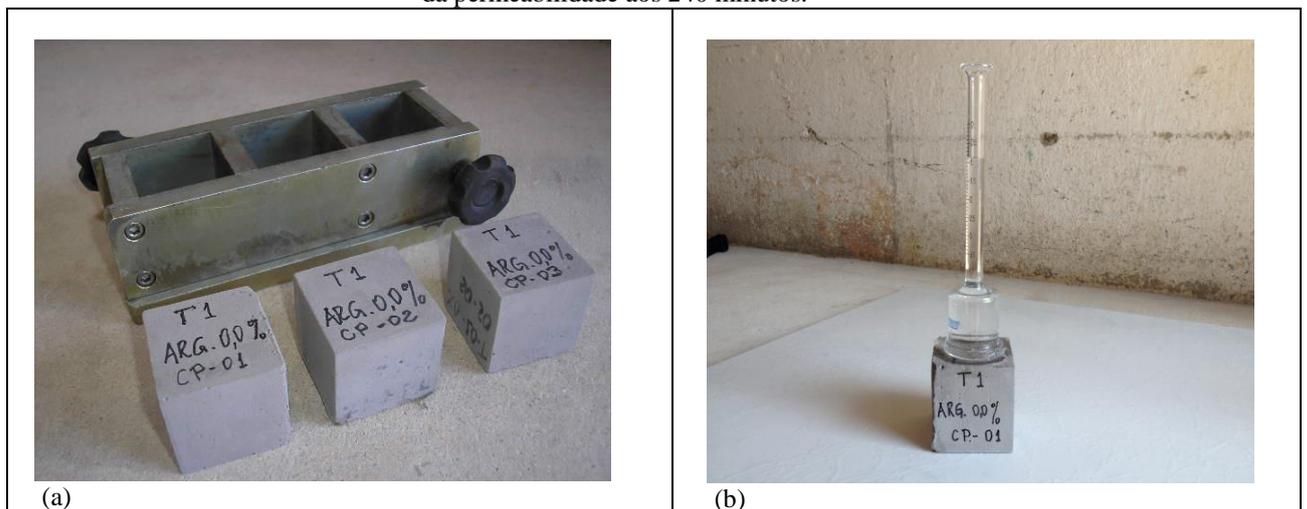
Tabela 3 – Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.

Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	PERMEABILIDADE AOS 240 MIN (Valor individual)	PERMEABILIDADE AOS 240 MIN (Valor médio)
Nº/Referência	Nº	-	%	cm ³	cm ³
01/ARG.00	01	0,33	0,0	0,8	0,9
	02			0,9	
	03			0,9	

Figura 04 – Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.

Registro fotográfico dos ensaios: (a) Molde cúbico para corpos de prova de argamassa de rejuntamento de 5 X 5 cm e corpos de prova para ensaio de permeabilidade aos 240 minutos; (b) Coluna de vidro graduada e medição da permeabilidade aos 240 minutos.



4.1.4 Absorção de água por imersão

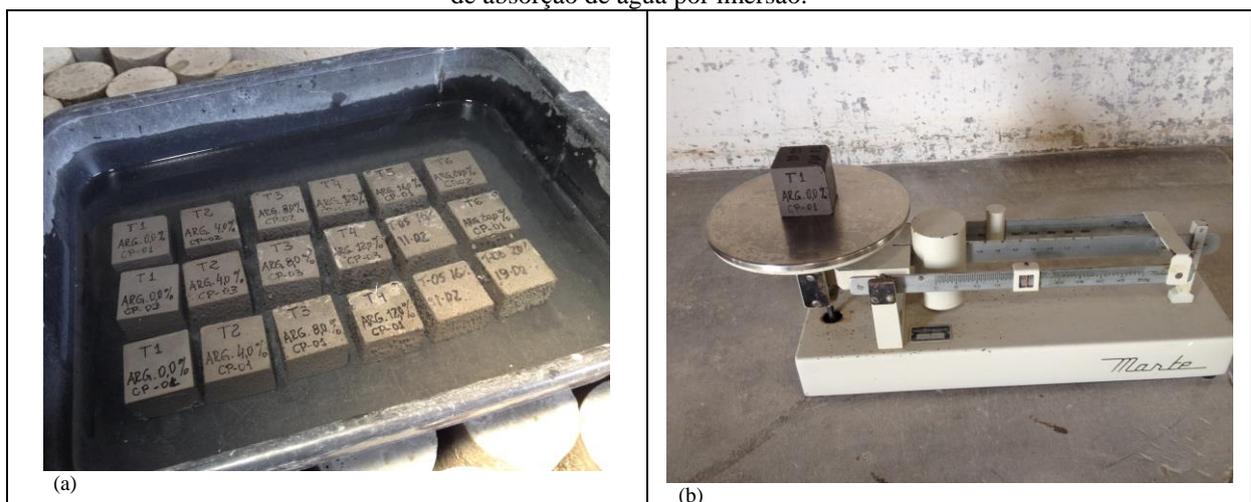
Para a realização desse ensaio, observou-se o que estabelece a NBR 9781:2013 (Anexo B). Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água.

A NBR 14992:2005 não estabelece requisitos para absorção de água por imersão das argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas. Esse ensaio foi realizado apenas para avaliação comparativa da argamassa de rejuntamento de referência e as argamassas de rejuntamento com adição de pó de borracha de pneu.

Tabela 04 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013 (Anexo B) - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água por imersão. Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/ A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO (Valor individual)	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	%	%
01/ARG.00	01	0,33	0,0	12,7	12,7
	02			12,8	
	03			12,7,	

Figura 05 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013 (Anexo B) - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água. Registro fotográfico dos ensaios: (a) Corpos de prova para ensaio de absorção de água por imersão; (b), Ensaio de absorção de água por imersão.



4.1.5 Resistência à compressão

Para a determinação da resistência à compressão, observou-se o prescrito na norma NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.

Essa norma estabelece que as argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas (tipo II) devem apresentar resistência à compressão maior ou igual a 10 MPa aos 14 dias de idade.

Tabela 05 - Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.

Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/ A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Valor individual)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Valor médio)	DESVIO RELATIVO MÁXIMO
Nº/Referência	Nº		%	MPa	MPa	%
01/ARG.00	01	0,33	0,0	13,8	13,8	2,2
	02			13,7		
	03			13,5		
	04			13,8		

Figura 06 – Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Registro fotográfico dos ensaios: (a) Moldagem dos corpos de prova cilíndricos de 5 X 10 cm; (b) Corpos de prova retificados para ensaios; (c) Máquina de ensaio; (d) Aspecto da ruptura à compressão.



4.1.6 Resistência à tração na flexão

Para a realização desse ensaio, observou-se o que recomenda a NBR 13279:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Método de ensaio.

Adotou-se essa norma para esse ensaio - que recomenda utilização de corpos de prova de 4 X 4 X 16 cm - em detrimento da NBR 14992:2003 (Anexo E) - que recomenda utilização de corpos de prova de 2,5 X 2,5 X 25 cm -, em razão da grande dispersão nos resultados obtidos com os corpos de prova de 2,5 X 2,5 X 25 cm.

A NBR 14992:2003 (Anexo E). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios estabelece que essa argamassa deve apresentar resistência à tração na flexão maior ou igual a 3,0 MPa aos 7 dias de idade.

Tabela 06 – Resistência à tração na flexão. NBR 13279:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Método de ensaio.
Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (Valor individual)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	MPa	MPa
01/ARG.00	01	0,33	0,0	2,1	2,0
	02			1,9	
	03			2,0	

Figura 07 – Resistência à tração na flexão. NBR 13279:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Método de ensaio. Registro fotográfico dos ensaios: (a) Moldagem dos corpos de prova prismáticos de 4 X 4 X 16 cm; (b) Corpos de prova aos 7 dias de idade; (c) Máquina de ensaio; (d) Aspecto da ruptura à tração na flexão.



4.1.7 Resistência de aderência à tração

Para a determinação da resistência de aderência a tração, adotou-se o que prescreve a NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração.

Foram utilizados corpos de prova de placas cerâmicas (do grupo de absorção BIIA - NBR 13817), quadradas de 5 X 5 cm, assentadas sobre substrato padrão, conforme NBR 14081 - 2:2012 (Anexo B). Esses corpos de prova foram submetidos à cura normal (cura em condições ambientais de laboratório) e ensaiados aos 28 dias de idade.

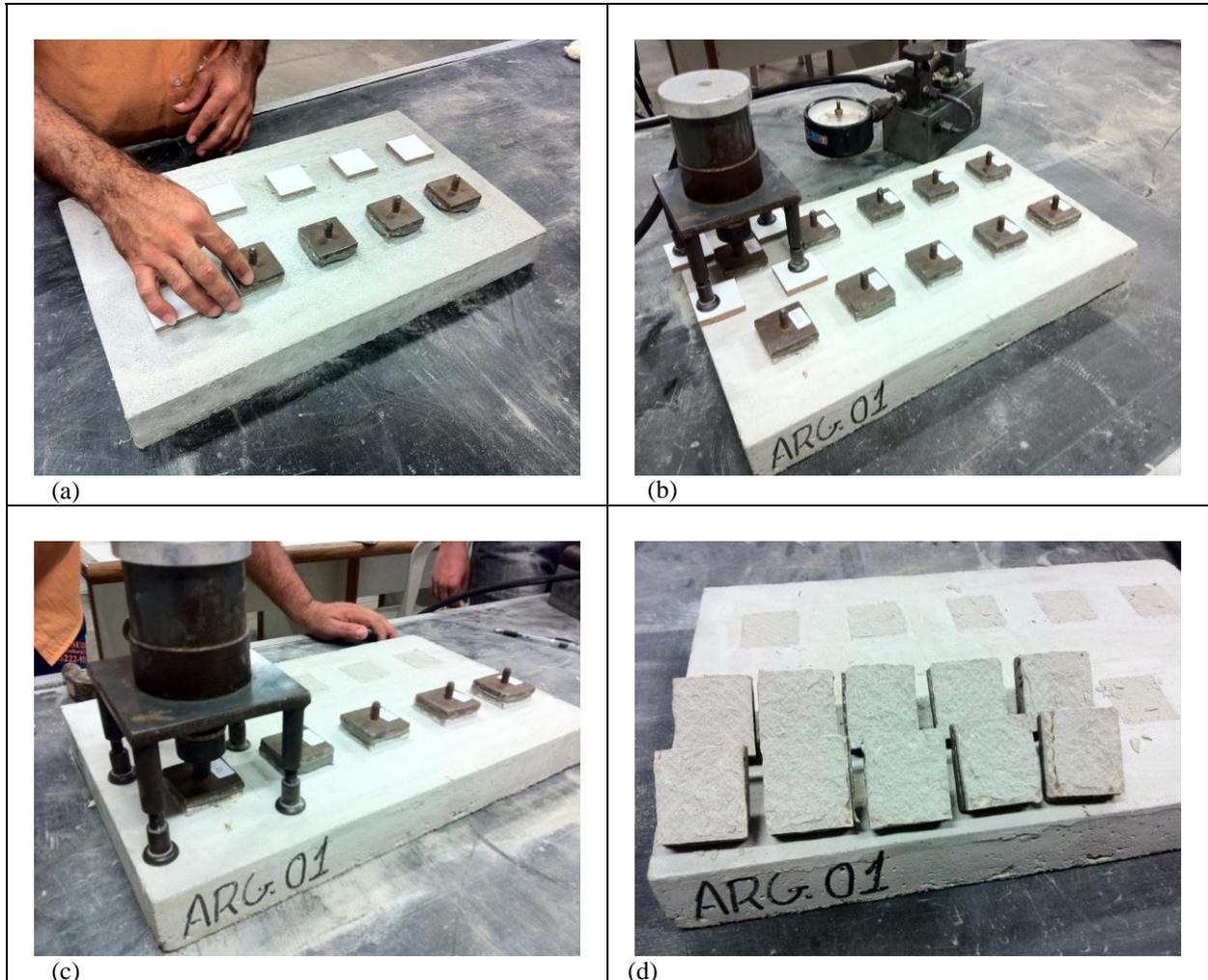
A NBR 14992:2003 - AR Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios não estabelece requisitos para resistência

de aderência à tração para as argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas. Esse ensaio foi realizado apenas para avaliação comparativa entre a argamassa de rejuntamento de referência e as argamassas de rejuntamento com adição de pó de borracha de pneu.

Tabela 07 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração. Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Valor individual)	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	MPa	MPa
01/ARG.00	01	0,33	0,0	1,90	1,83
	02			1,80	
	03			1,84	
	04			1,88	
	05			1,69	
	06			1,84	
	07			1,96	
	08			1,83	
	09			1,69	
	10			1,86	

Figura 08 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração. Registro fotográfico dos ensaios: (a) Substrato padrão e fixação das placas cerâmicas de ensaio; (b) Máquina de ensaio e placas metálicas para ensaio de resistência de aderência à tração; (c) Ensaio de resistência de aderência à tração; (d) Aspecto da ruptura dos corpos de prova após ensaio.



4.1.8 Densidade de massa aparente no estado endurecido

Para a realização desse ensaio, observou-se a NBR 13280:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.

A NBR 14992:2003 - AR Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios não estabelece requisitos para a densidade de massa aparente no estado endurecido. Esse ensaio foi realizado apenas para avaliação comparativa entre a argamassa de rejuntamento de referência e as argamassas com adição de pó de borracha de pneu.

Adotaram-se corpos de prova prismáticos (4 X 4 X 16 cm) para ensaio, moldados conforme NBR 13279:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e compressão.

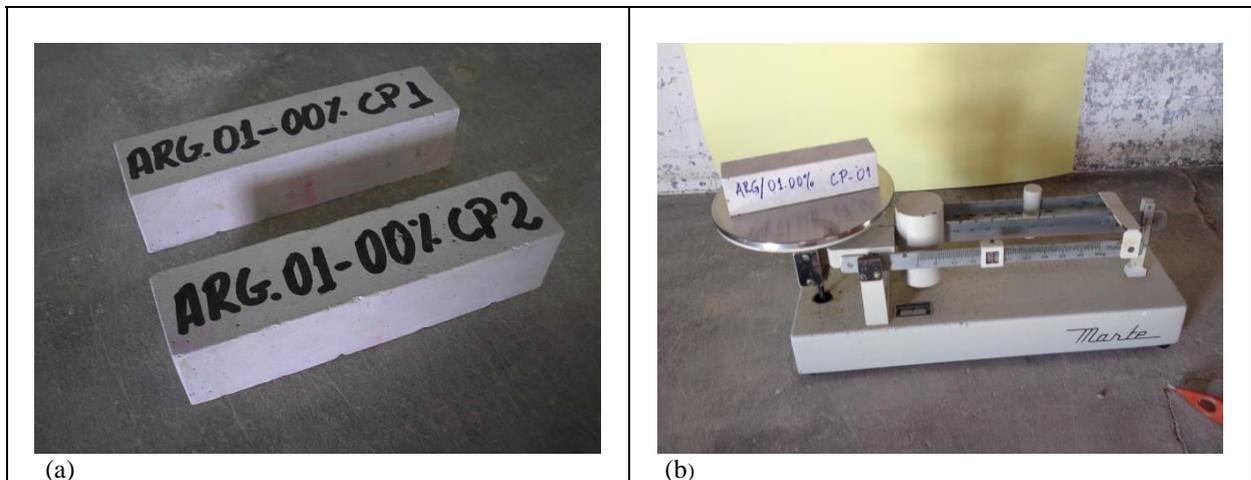
Tabela 09 – Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.

Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	DENSIDADE DE MASSA APARENTE (Valor individual)	DENSIDADE DE MASSA APARENTE (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	kg/dm ³	kg/dm ³
01/ARG.00	01	0,33	0,0	1,64	1,64
	02			1,65	
	03			1,65	

Figura 09 – Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.

Registro fotográfico dos ensaios: (a) Corpos de prova moldados para ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido; (b) Ensaios de densidade de massa aparente no estado endurecido.



4.2 PÓ DE BORRACHA DE PNEU (DIÂMETRO MÁXIMO DE 0,3 MM)

Na sequência, apresenta-se os resultados dos ensaios de caracterização tecnológica do pó de borracha de pneu utilizado. Ressaltamos que esse pó foi obtido por peneiramento a seco, a partir da raspa de pneu bruta lavada, oriunda da retífica de pneus para recauchutagem que resultou em um pó fino passante na peneira de malha 0,3 mm.

Foram utilizados 300 kg de raspa de pneu bruta e, após peneiramento, o rendimento de pó de borracha com diâmetro inferior a 0,3 mm em relação à raspa bruta foi de 8 %.

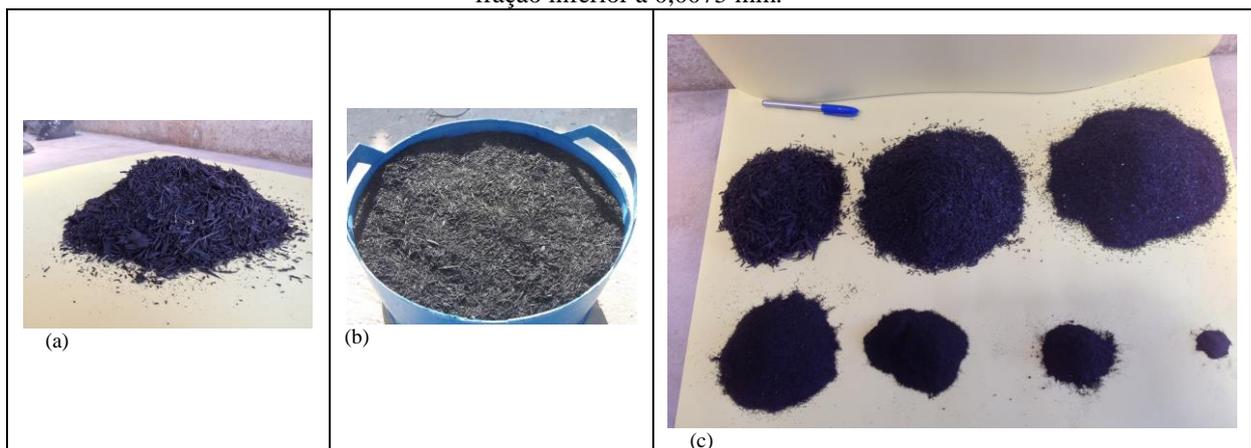
A parte grossa da raspa de pneu com diâmetro superior a 0,3 mm foi descartada.

A lavagem do pó de borracha de pneu obtido (diâmetro inferior a 0,3 mm) foi feita através de três seções, consecutivas, de agitação durante 5 minutos, em betoneira de laboratório (capacidade de 120 litros) com uma solução de água e sabão antiespumante de uso doméstico na proporção de 1 kg de sabão para 50 litros de água.

A escolha do diâmetro máximo inferior a 0,3 mm para o pó de borracha de pneu utilizado, foi para garantir uma semelhança com o diâmetro máximo da areia presente na argamassa para rejuntamento de referência adotada.

Figura 10 – Raspa bruta de borracha de pneu.

Registro fotográfico da raspa de borracha de pneu: (a) Amostra de raspa bruta de borracha de pneu (5 kg); b) Amostra de raspa bruta de borracha de pneu após lavagem (20 kg); c) Granulometria da raspa bruta de pneu. Frações retidas, respectivamente nas peneiras 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm, 0,075 e fração inferior a 0,0075 mm.



4.2.1 Granulometria

A realização desse ensaio de granulometria obedeceu à NBR 248:2003. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Método de ensaio.

Diâmetro máximo do pó de borracha de pneu: Inferior a 0,3 mm.

Tamanho da amostra de ensaio: 300 g.

Umidade da amostra: 0,0 %

Tabela 09 – Composição granulométrica do pó de borracha de pneu com diâmetro máximo inferior a 0,3 mm.
NBR 248:2003. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Método de ensaio.
Apresentação numérica dos resultados

PENEIRA	MASSA RETIDA	PORCENTAGEM RETIDA	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA	
			SÉRIE NORMAL	SÉRIE INTERMEDIÁRIA
# mm	g	%	%	%
0,6	0,0	0	0	-
0,3	0,0	0	0	-
0,15	93,6	31	31	-
0,075	196,5	66	97	-
<0,075	9,9	3	100	-
SOMAS	300	100	128	-
MÓDULO DE FINURA		1,28		
DIÂMETRO MÁXIMO		0,3 mm		

Gráfico 01 – Composição granulométrica do pó de borracha de pneu com diâmetro máximo inferior a 0,3 mm.
NBR 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Método de ensaio.
Apresentação gráfica dos resultados – Curva granulométrica

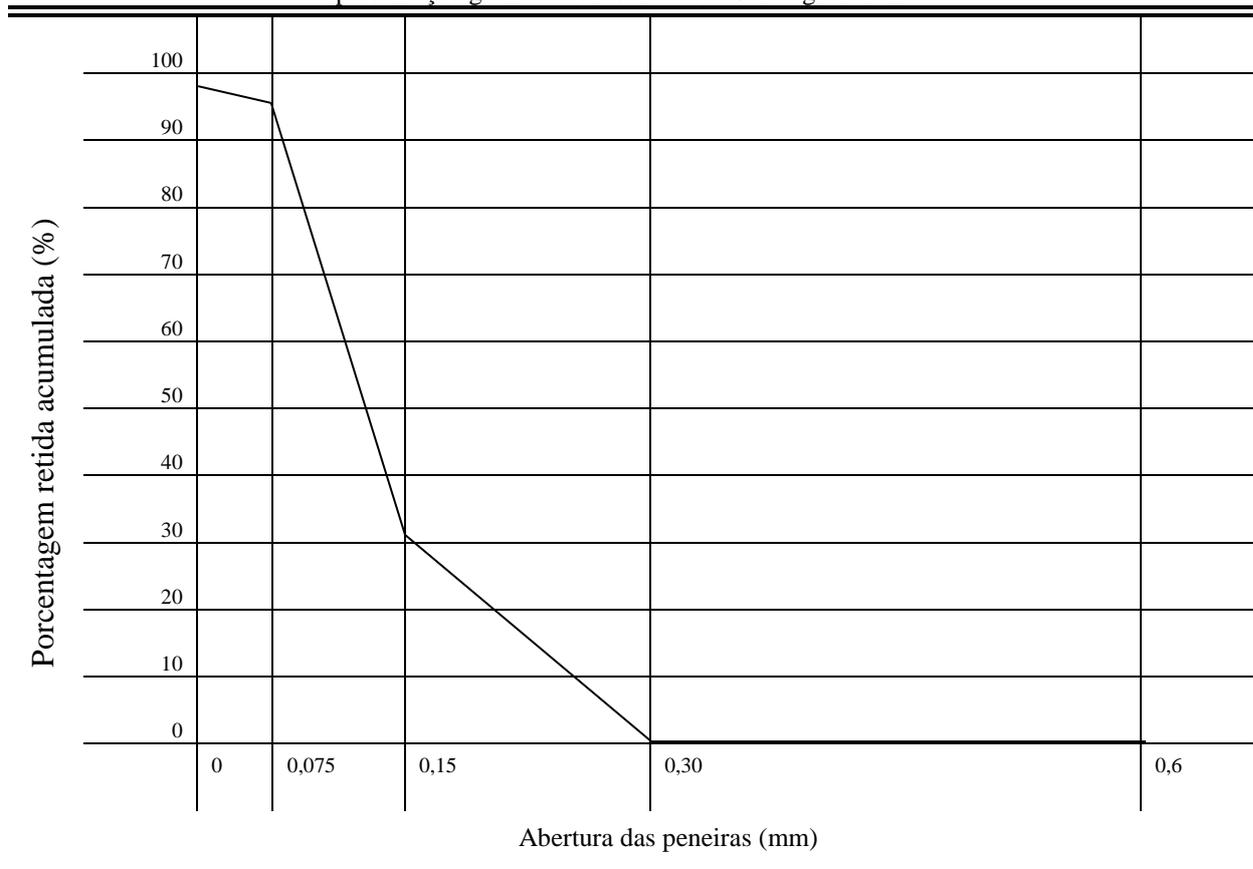
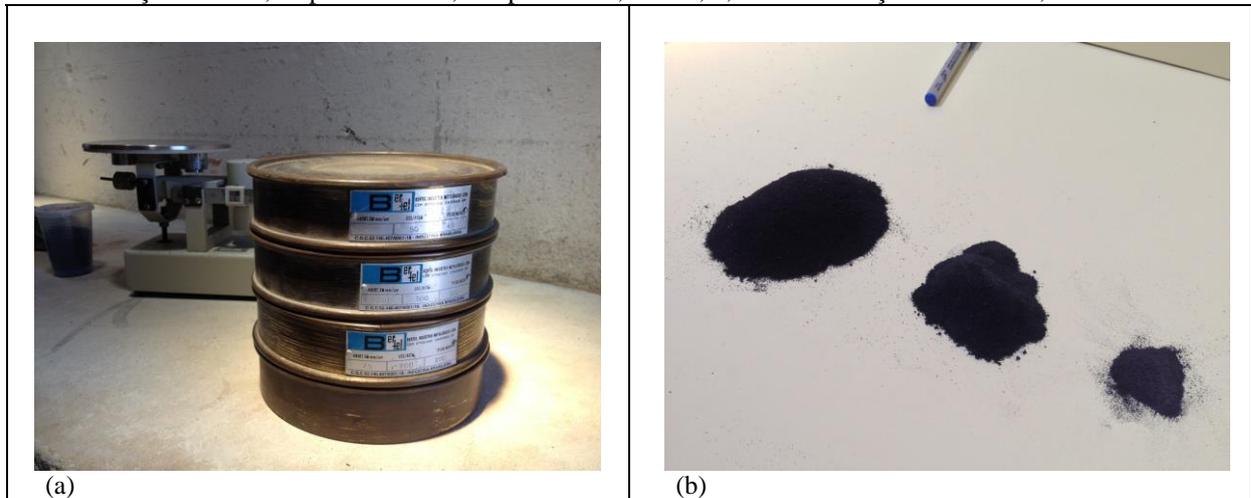


Figura 11 – Composição granulométrica do pó de borracha de pneu com diâmetro inferior a 0,3 mm. NBR 248:2003. Agregados - Determinação da composição granulométrica. Método de ensaio. Registro fotográfico dos ensaios: (a) Peneiras de ensaio 0,3mm, 0,15 mm, 0,075 mm e fundo de peneiras; (b) Frações retidas, respectivamente, nas peneiras 0,15 mm, 0,075 mm e fração inferior a 0,0075 mm.



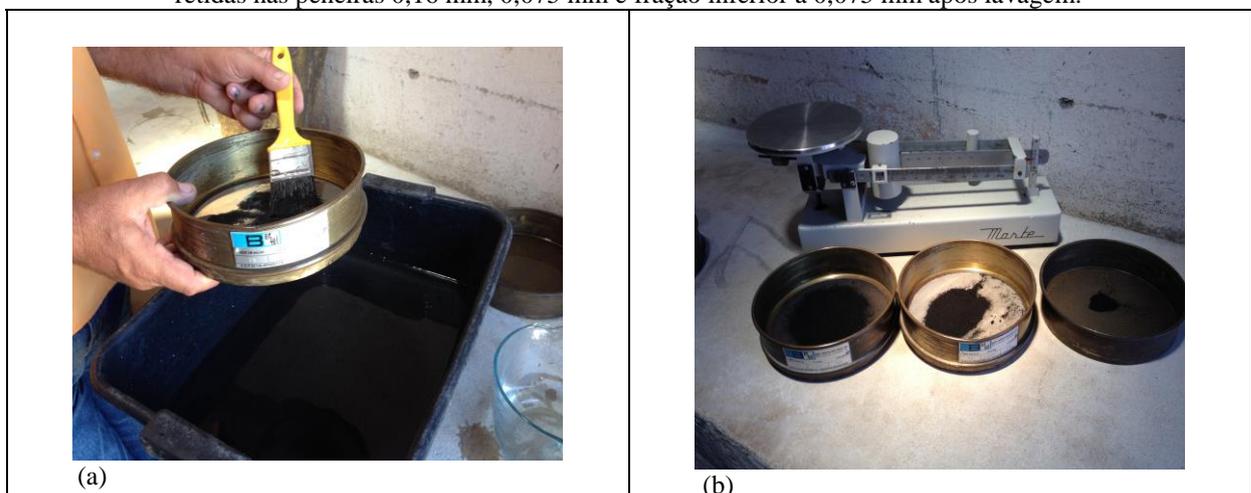
4.2.2 Material fino que passa através da peneira 0,075 mm, por lavagem

A realização desse ensaio obedeceu à NBR NM 46:2003. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 0,075 mm, por lavagem.

Tabela 10 – Material fino que passa através da peneira 0,075 mm, por lavagem. NBR NM 46:2006. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μ m, por lavagem. Apresentação numérica dos resultados

AMOSTRA	MATERIAL FINO QUE PASSA ATRAVÉS DA PENEIRA 0,075 mm, POR LAVAGEM	
N ^o	% (Valores individuais)	% (Valor médio)
01	3,1	3,1
02	3,0	

Figura 12 – Material fino que passa através da peneira 75 μ m, por lavagem. NBR NM 46:2003. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 μ m, por lavagem. Registro fotográfico dos ensaios: (a) Lavagem do pó de borracha de pneu; (b) Frações do pó de borracha de pneu retidas nas peneiras 0,16 mm, 0,075 mm e fração inferior a 0,075 mm após lavagem.



4.2.3 Massa unitária do pó de borracha com diâmetro inferior a 0,30 mm

Esse ensaio foi realizado conforme a NBR NM 45:2006. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Método de ensaio.

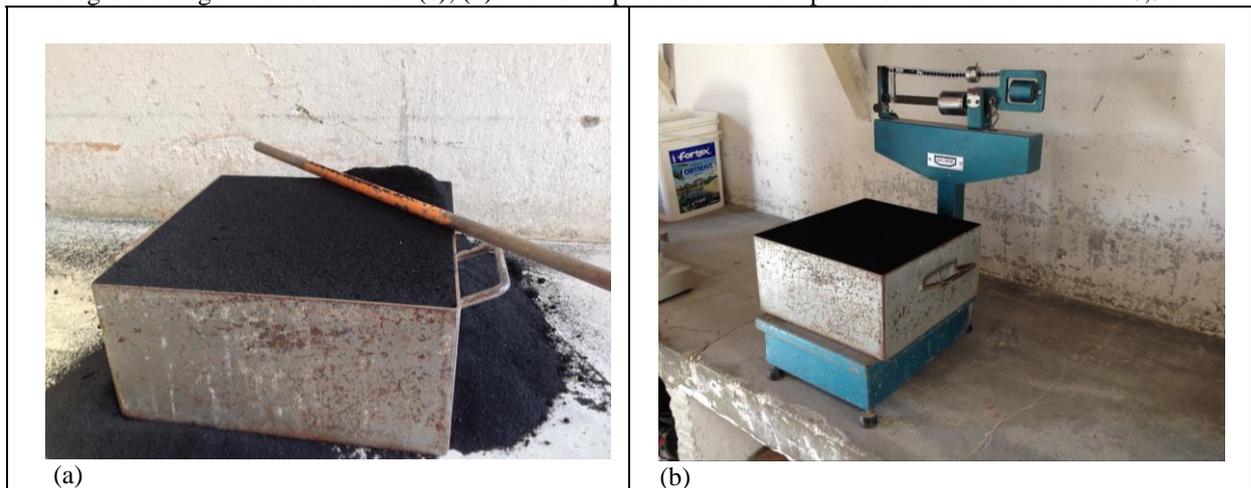
A NBR 14992:2003 - AR Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios não estabelece requisitos para massa unitária e índice de vazios. Assim mesmo, esse ensaio foi realizado apenas para avaliação comparativa entre a argamassa de rejuntamento de referência e as argamassas de rejuntamento com adição de pó de borracha de pneu.

Tabela 11 – Massa unitária. NBR NM 45:2006. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Método de ensaio. (Método C. Massa unitário no estado solto).
Apresentação numérica dos resultados

AMOSTRA	MASSA UNITÁRIA NO ESTADO SOLTO	
Nº	Valores individuais (kg/dm ³)	Média (kg/dm ³)
01	0,34	0,34
02	0,34	
03	0,35	

Figura 13 – Massa unitária. NBR NM 45:2006. Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Método de ensaio. (Método C. Massa unitário no estado solto).

Registro fotográfico dos ensaios: (a); (b) Ensaio do pó de borracha de pneu com diâmetro inferior a 0,3 mm.



4.3 ARGAMASSAS DE REJUNTAMENTO DE REFERÊNCIA E COM ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA DE PNEU

Neste último parágrafo do capítulo resultados dos ensaios, apresenta-se os resultados dos ensaios de caracterização tecnológica realizados com a argamassa de referência (ARG/01.00) e com a argamassa de referência (ARG/01.00) adicionada com pó de borracha de pneu (diâmetro máximo de 0,3 mm) nas proporções de 4,0 %, 8,0 %, 12,0 %, 16,0 % e 20,0 %, designadas, respectivamente, de ARG/02.04, ARG/03.08, ARG/ 04.12, ARG/05.16 e ARG/06.20.

Em razão de não haver método de ensaio normatizado especificamente para índice de consistência referente às argamassas de rejuntamento, na preparação de todas essas argamassas adicionadas com pó de borracha de pneu, adotou-se um índice de consistência de 180 mm, medido na mesa de espalhamento, conforme NBR 13276:2005 - Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.

Para garantir o mesmo índice de consistência de 180 mm na fabricação dessas argamassas de rejuntamento com adição de pó de borracha de pneu, adotou-se a proporção de água / A.R. anidro de 0,36 para a argamassa (ARG/02.04); 0,39 para a argamassa (ARG/03.08); 0,41 para a argamassa (ARG/04.12); 0,43 para argamassa (ARG/05.16) e 0,47 para a argamassa (ARG/06.20).

4.3.1 Índice de consistência

O preparo das misturas das argamassas para ensaio obedeceu ao que estabelece a norma 14992:2005 (Anexo A). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios.

Numa avaliação visual, as argamassas de rejuntamento A.R. preparadas apresentaram trabalhabilidade adequada à execução de rejuntamento de placas cerâmicas tanto em relação à facilidade no preenchimento das juntas de assentamento quanto à textura superficial obtida.

Como não há normas de requisitos na ABNT para índice de consistência das argamassas de rejuntamento, tomou-se como base os índices de consistência medidos em argamassas de rejuntamento aplicadas em três obras de edifícios em Natal-RN, no período inicial da pesquisa, que variaram entre 260 a 300 mm.

Tabela 12 – Índice de consistência. NBR 13276:2005. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios.
Apresentação numérica dos resultados dos índices de consistência das argamassas de rejuntamento de referência e com adição de pó de borracha de pneu.

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (Valor individual)	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	mm	mm
01/ARG.00	01	0,33	0,0	278	280
	02			280	
	03			283	
02/ARG.04	01	0,36	4,0	280	280
	02			281	
	03			280	
03/ARG.08	01	0,39	8,0	278	280
	02			280	
	03			281	
04/ARG.12	01	0,41	12,0	278	280
	02			281	
	03			280	
05/ARG.16	01	0,43	16,0	281	280
	02			281	
	03			278	
06/ARG.20	01	0,47	20,0	280	280
	02			280	
	03			280	

Gráfico 02 - Índice de consistência. NBR 13276:2005. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios.
Representação gráfica dos resultados dos ensaios dos índices de consistência das argamassas com adição de pó de borracha de pneu nas proporções de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 %.

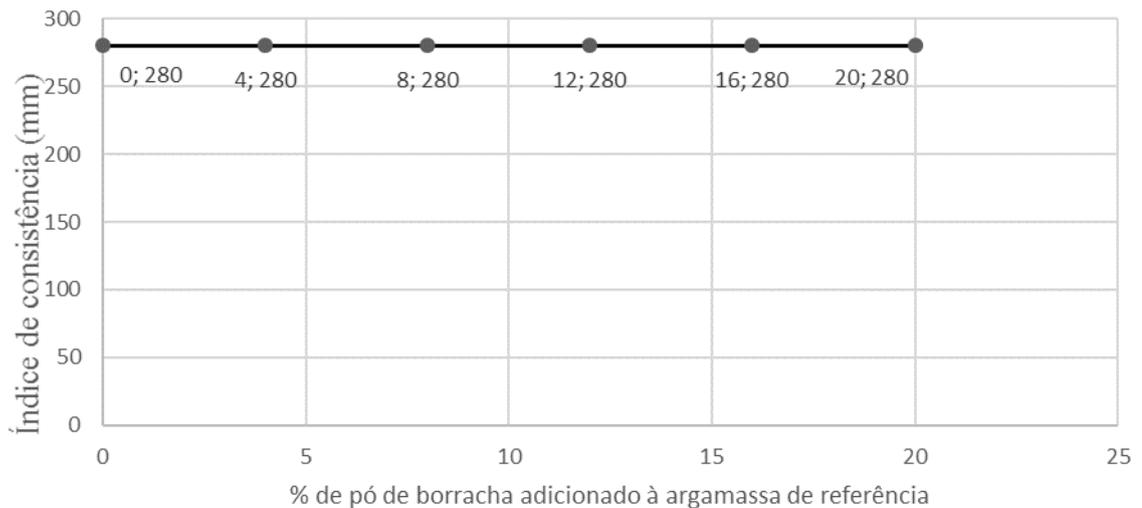
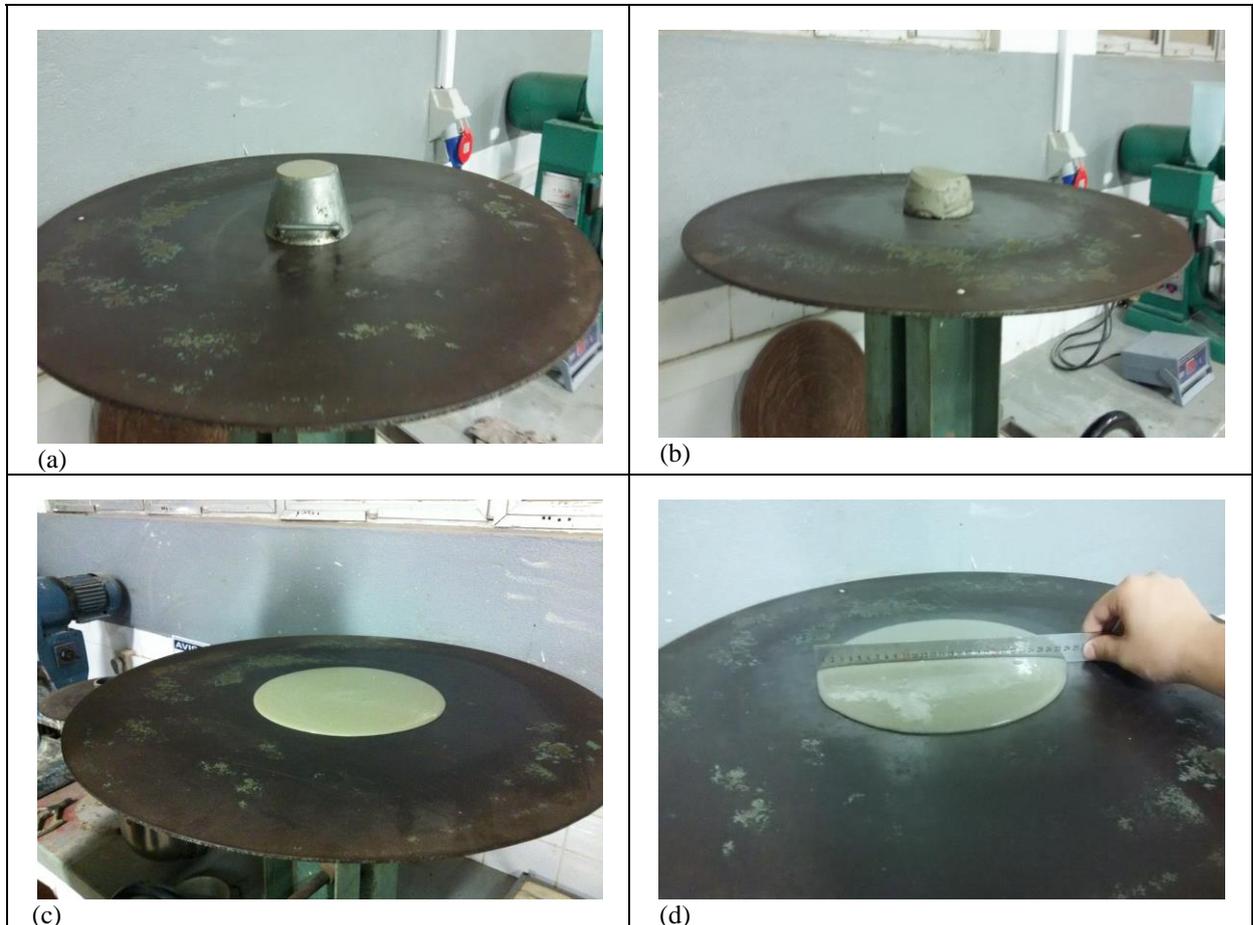


Figura 14 - Índice de consistência. NBR 13276:2005. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios.

Registro fotográfico de um dos ensaios de determinação do índice de consistência com as argamassas de rejuntamento de referência e com adição de pó de borracha de pneu. (a) Molde tronco de cone e mesa de espalhamento; (b) Tronco de cone de argamassa; (c) Espalhamento da argamassa fresca na mesa de espalhamento após 30 golpes na mesa de espalhamento; (d) Medição do índice de consistência da argamassa.



4.3.2 Retenção de água

Para a determinação da retenção de água da argamassa de rejuntamento de referência, adotou-se o método prescrito na NBR 14992:2003. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. (Anexo B). Essa norma estabelece que as argamassas de rejuntamento tipo II devem apresentar retenção de água menor ou igual a 65 mm aos 10 minutos.

Tabela 13 – Retenção de água. NBR 14992:2003. Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	RETENÇÃO DE ÁGUA (Valor individual)	RETENÇÃO DE ÁGUA (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	mm	mm
01/ARG.00	01	0,33	0,0	64,1	64,1
	02			63,9	
	03			64,1	
02/ARG.04	01	0,36	4,0	67,5	67,6
	02			67,6	
	03			67,7	
03/ARG.08	01	0,39	8,0	74,5	74,6
	02			74,7	
	03			74,7	
04/ARG.12	01	0,41	12,0	79,0	79,2
	02			79,3	
	03			79,4	
05/ARG.16	01	0,43	16,0	84,4	84,5
	02			84,4	
	03			84,6	
06/ARG.20	01	0,47	29,0	88,1	88,4
	02			88,6	
	03			88,5	

Gráfico 03 - Retenção de água. NBR 14992:2003. Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.

Representação gráfica dos resultados dos ensaios das retenções de água aos 10 minutos das argamassas com adição de pó de borracha de pneu nas proporções de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 %.

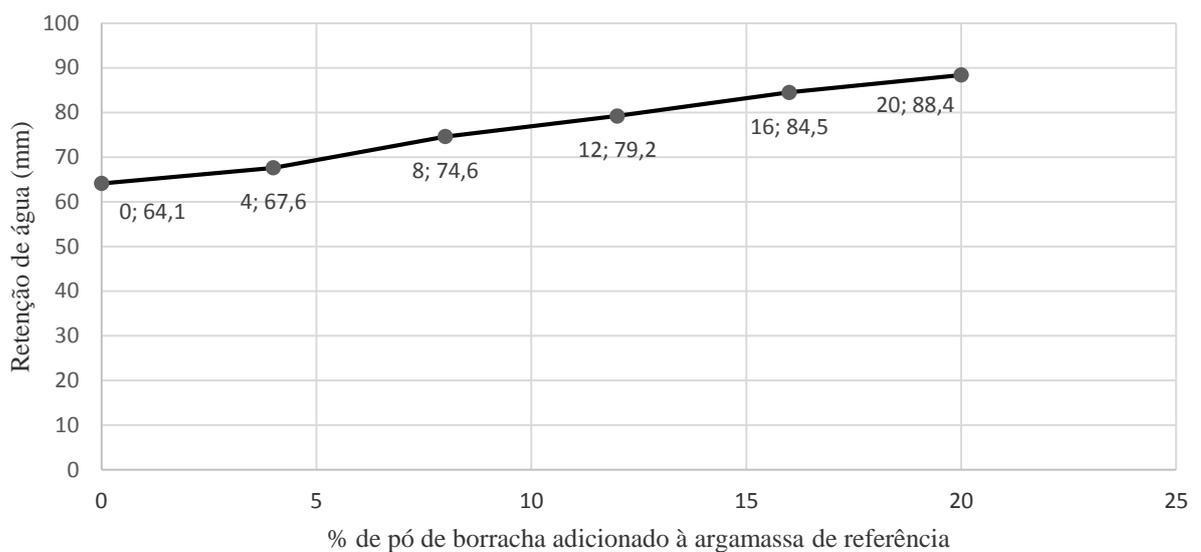
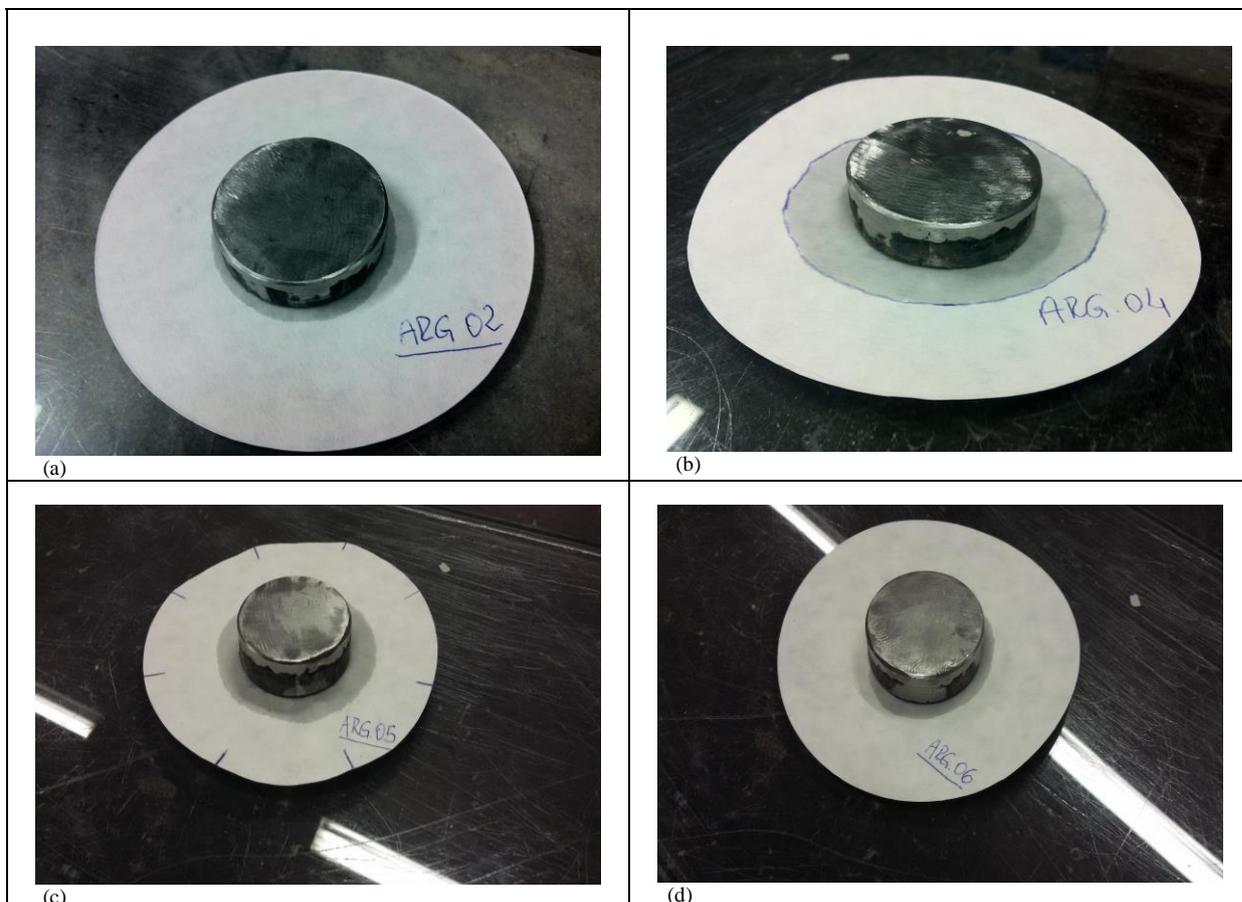


Figura 15 - Retenção de água. NBR 14992:2003 Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Registro fotográfico dos ensaios: (a) Copo cilíndrico metálico, placa de vidro e disco de papel filtro (filtração média); (b), (C) e (d) Diâmetro delimitado pela umidade migrada ao papel-filtro.



4.3.3 Permeabilidade aos 240 minutos

Para a realização desse ensaio, observou-se o que estabelece a NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.

Tabela 14 - Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	PERMEABILIDADE AOS 240 MIN (Valor individual)	PERMEABILIDADE AOS 240 MIN (Valor médio)
Nº/Referência	Nº	-	%	cm ³	cm ³
01/ARG.00	01	0,33	0,0	0,9	0,9
	02			0,9	
	03			0,8	
02/ARG.04	01	0,36	4,0	2,9	2,9
	02			2,9	
	03			3,0	
03/ARG.08	01	0,39	8,0	-	(*)
	02			-	
	03			-	
04/ARG.12	01	0,41	12,0	-	(*)
	02			-	
	03			-	
05/ARG.16	01	0,43	16,0	-	(*)
	02			-	
	03			-	
06/ARG.20	01	0,47	20,0	-	(*)
	02			-	
	03			-	

Observação (*): A partir do traço 03 - Argamassa com 8,0 % de pó de borracha até o Traço 06 - argamassa com 20,0 % de pó de borracha, a permeabilidade aos 240 minutos foi superior a 3,0 dm³, valor superior à capacidade de medição da coluna de vidro de ensaio.

Gráfico 04 – Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Representação gráfica dos resultados dos ensaios das permeabilidades aos 240 minutos das argamassas com adição de pó de borracha de pneu nas proporções de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 %.

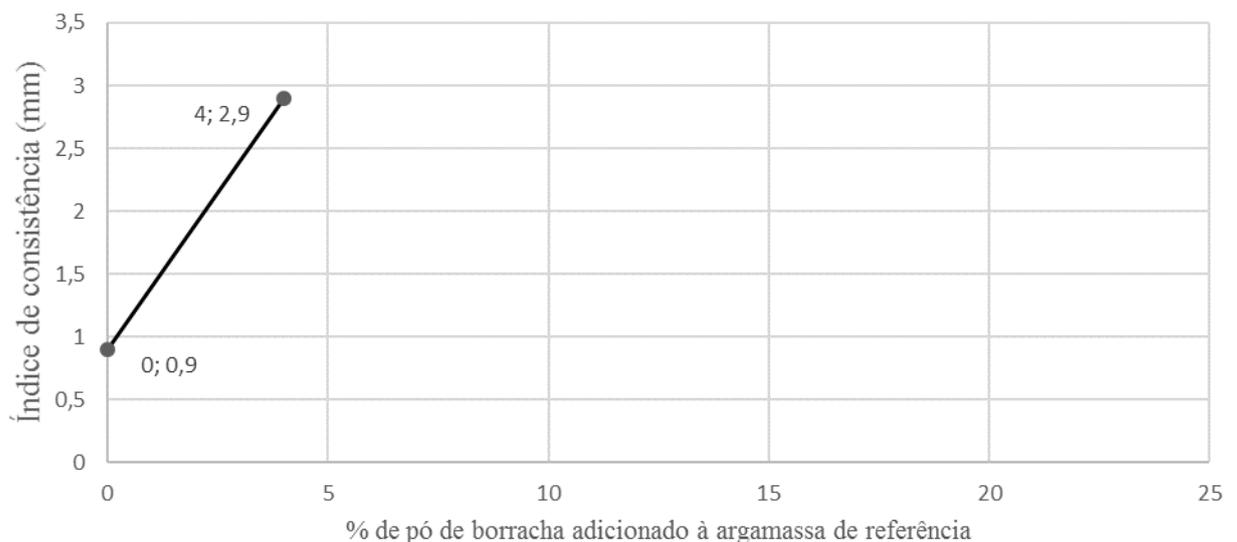
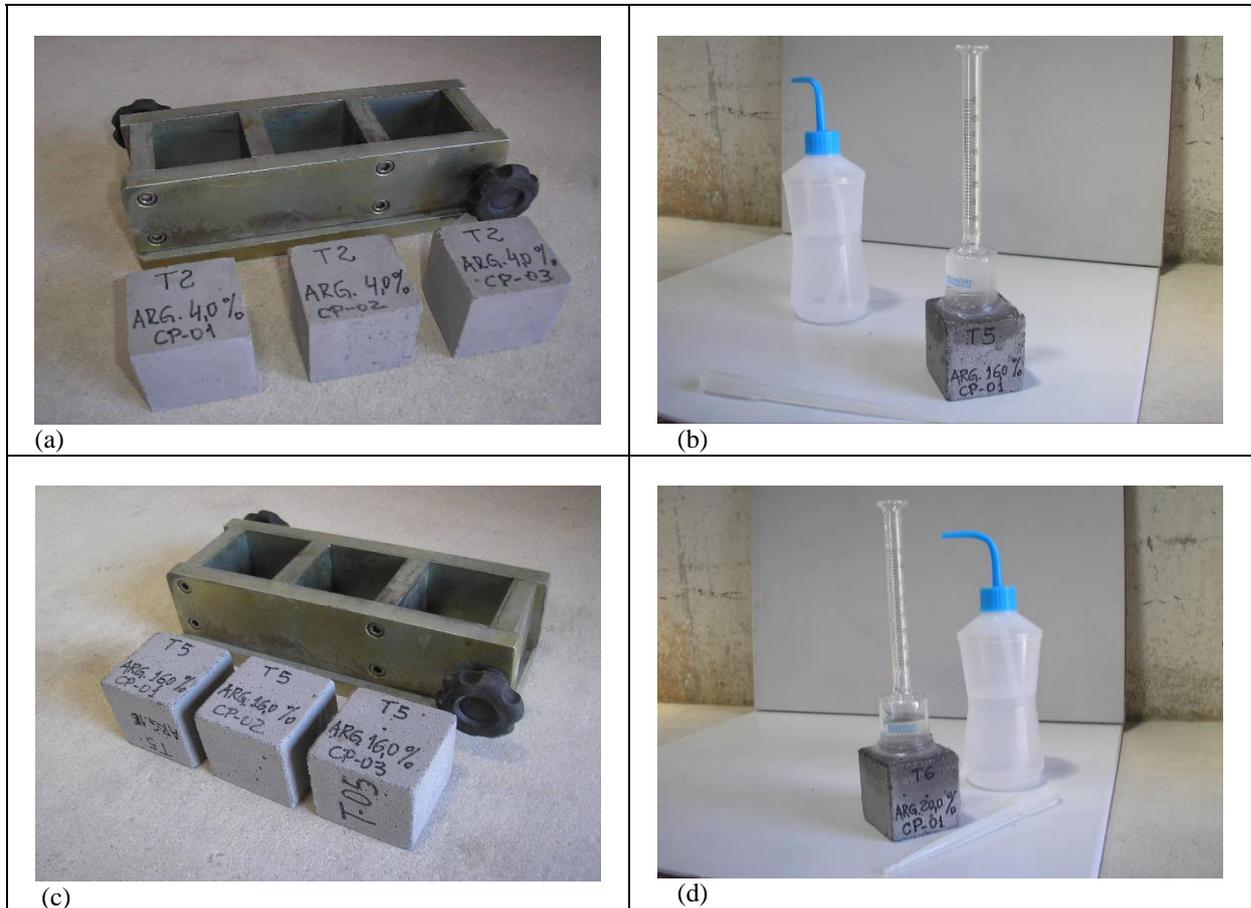


Figura 16 - Permeabilidade aos 240 minutos. NBR 14992:2003 (Anexo G). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. Registro fotográfico dos ensaios: (a) Corpos de prova cúbicos para ensaio. Traço 02 - Argamassa com 4,0 % de pó de borracha; (b) Medição da permeabilidade. Traço 05 - Argamassa com 16,0 % de pó de borracha; (c) Corpos de prova cúbicos para ensaio. Traço 05 - Argamassa com 16,0 % de pó de borracha; (d) Medição da permeabilidade. Traço 06 - Argamassa com 20,0 % de pó de borracha.



4.3.4 Absorção de água por imersão

Para a realização desse ensaio, observou-se o que estabelece a NBR 9781:2013 (Anexo B). Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água.

A NBR 1499:2005 não estabelece requisitos para absorção de água por imersão das argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas. Esse ensaio foi realizado apenas para avaliação comparativa da argamassa de rejuntamento de referência e as argamassas de rejuntamento com adição de pó de borracha de pneu.

Tabela 15 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013 (Anexo B). Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água. Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/ A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO (Valor individual)	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO (Valor médio)
N ^o /Referência	N ^o		%	%	%
01/ARG.00	01	0,33	0,0	12,7	12,7
	02			12,9	
	03			12,7	
02/ARG.04	01	0,36	4,0	14,3	14,1
	02			14,0	
	03			14,1	
03/ARG.08	01	0,39	8,0	15,6	15,6
	02			15,9	
	03			15,4	
04/ARG.12	01	0,41	12,0	17,7	17,7
	02			17,7	
	03			17,8	
05/ARG.16	01	0,43	16,0	20,0	19,9
	02			19,8	
	03			20,0	
06/ARG.20	01	0,47	20,0	23,9	23,8
	02			23,9	
	03			23,7	

Gráfico 05 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013 (Anexo B). Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água. Representação gráfica dos resultados dos ensaios das absorções de água por imersão das argamassas com adição de pó de borracha de pneu nas proporções de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 %.

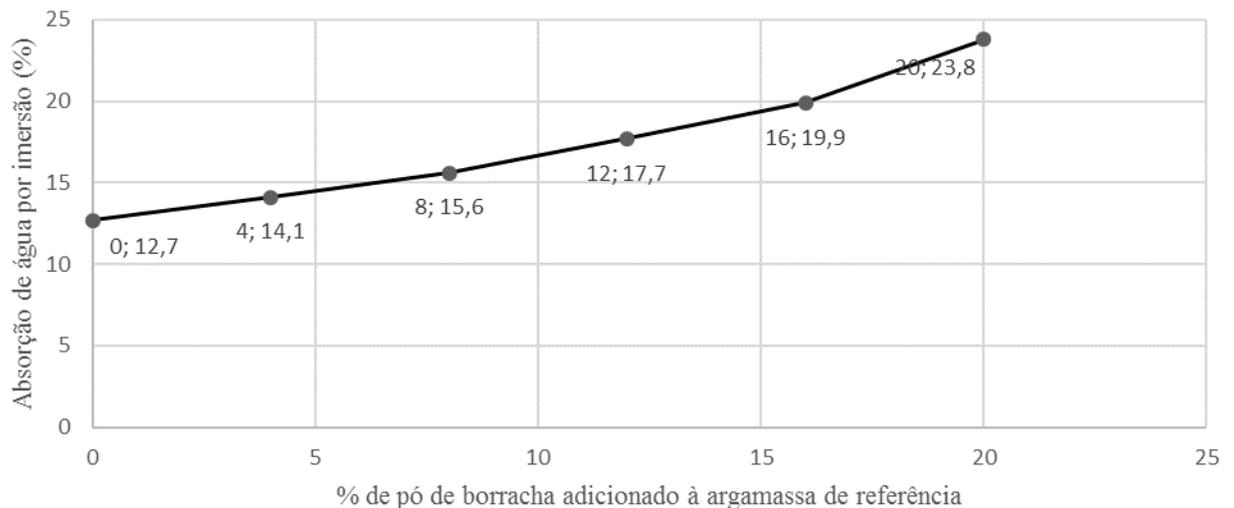


Figura 17 – Absorção de água por imersão. NBR 9781:2013. (Anexo B) - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água. Registro fotográfico dos ensaios: (a) Corpos de prova para ensaio de absorção de água por imersão; (b), (c), (d) Ensaio de absorção de água por imersão.



4.3.5 Resistência à compressão

Para a determinação da resistência à compressão, observou-se o prescrito na norma NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. Utilizaram-se corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm, com idade de 14 dias. Essa norma estabelece que as argamassas de rejuntamento tipo II devem apresentar resistência à compressão maior ou igual a 10,0 MPa aos 14 dias de idade.

Tabela 16 – Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/ A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Valor individual)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (Valor médio)	DESVIO RELATIVO MÁXIMO
Nº/Referência	Nº		%	MPa	MPa	%
01/ARG.00	01	0,33	0,0	13,8	13,8	2,2
	02			13,7		
	03			13,5		
	04			13,8		
02/ARG.04	01	0,36	4,0	11,1	10,8	2,8
	02			10,8		
	03			10,7		
	04			10,7		
03/ARG.08	01	0,39	8,0	8,3	8,6	3,5
	02			8,5		
	03			8,6		
	04			8,9		
04/ARG.12	01	0,41	12,0	5,8	6,1	4,9
	02			5,9		
	03			6,4		
	04			6,3		
05/ARG.16	01	0,43	16,0	5,0	4,9	6,1
	02			4,6		
	03			4,8		
	04			5,2		
06/ARG.20	01	0,47	20,0	3,3	3,2	6,3
	02			3,3		
	03			3,0		
	04			3,3		

Gráfico 06 – Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Representação gráfica dos resultados dos ensaios das resistências à compressão das argamassas com adição de pó de borracha de pneu nas proporções de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 %.

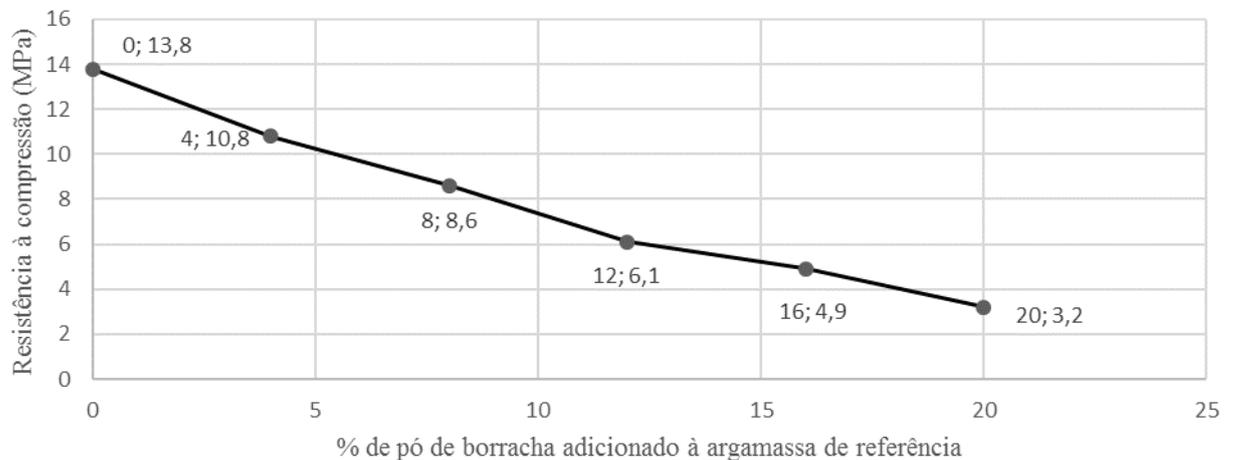


Figura 18 – Resistência à compressão. NBR 14992:2003 (Anexo D). AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. Registro fotográfico dos ensaios: (a) Moldagem dos corpos de prova; (b) Corpos de prova retificados para ensaio; (c) Máquina de ensaio; (d) Aspecto da ruptura.



4.3.6 Resistência à tração na flexão

Para a realização desse ensaio, observou-se o que recomenda a NBR 14992:2003 (Anexo E). Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. Essa norma estabelece que as argamassas de rejuntamento (tipo II) devem apresentar resistência de aderência na flexão maior ou igual a 3,0 MPa.

Tabela 17 – Resistência à tração na flexão. NBR 14992:2003 (Anexo E). - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (Valor individual)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	MPa	MPa
01/ARG.00	01	0,33	0,0	2,0	2,0
	02			2,0	
02/ARG.04	01	0,36	4,0	1,6	1,5
	02			1,4	
03/ARG.08	01	0,39	8,0	1,0	1,1
	02			1,1	
04/ARG.12	01	0,41	12,0	0,9	0,9
	02			0,9	
05/ARG.16	01	0,43	16,0	0,7	0,7
	02			0,6	
06/ARG.20	01	0,47	20,0	0,2	0,2
	02			0,1	

Gráfico 07 – Resistência à tração na flexão. NBR 14992:2003 (Anexo E). - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios.
Representação gráfica dos resultados dos ensaios das resistências à tração na flexão das argamassas com adição de pó de borracha de pneu nas proporções de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 %.

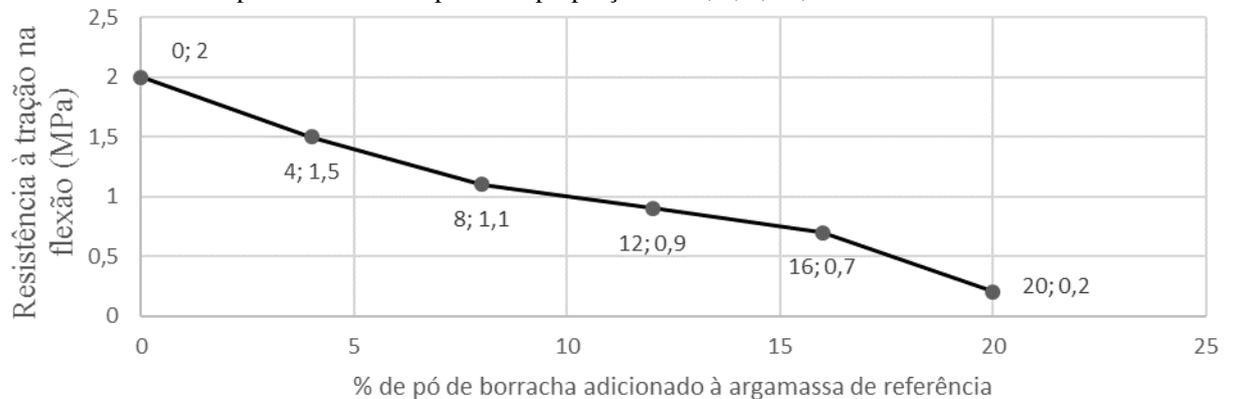


Figura 19 – Resistência à tração na flexão. NBR 14992:2003 (Anexo E). Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios. Registro fotográfico dos ensaios: (a) Moldagem dos corpos de prova prismáticos de 4 X 4 X 16 cm; (b) Corpos de prova aos 7 dias de idade; (c), Máquina de ensaio; (d) Aspecto da ruptura à tração na flexão.



4.3.7 Resistência de aderência à tração

Para a determinação da resistência de aderência à tração, adotou-se o que prescreve a NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração. Utilizaram-se corpos de prova de placas cerâmicas quadradas de 5 X 5cm, com absorção de água de 4,6% (classe). Assentadas sobre substrato padrão de concreto, conforme NBR 14081-2:2012 (Anexo B). Submetido à cura normal (cura em condições ambientais de laboratório) e ensaiados aos 28 dias de idade).

Tabela 18 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração
Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Valor individual)	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Valor médio)
N ^o /Referência	N ^o		%	MPa	MPa
01/ARG.00	01	0,33	0,0	1,90	1,64
	02			1,80	
	03			1,84	
	04			1,88	
	05			1,69	
	06			1,84	
	07			1,96	
	08			1,83	
	09			1,69	
	10			1,86	
02/ARG.04	01	0,36	4,0	1,68	1,72
	02			1,75	
	03			1,98	
	04			1,83	
	05			1,75	
	06			1,39	
	07			1,68	
	08			1,90	
	09			1,45	
	10			1,75	
03/ARG.08	01	0,39	8,0	1,37	1,37
	02			1,60	
	03			1,22	
	04			1,60	
	05			1,14	
	06			1,52	
	07			1,45	
	08			0,99	
	09			1,30	
	10			1,45	
04/ARG.12	01	0,41	12,0	0,99	0,83
	02			0,84	
	03			0,31	
	04			0,69	
	05			0,99	
	06			0,84	
	07			0,84	
	08			0,76	
	09			0,69	
	10			0,31	
05/ARG.16	01	0,43	16,0	0,70	0,64
	02			0,57	
	03			0,82	
	04			0,81	
	05			0,61	
	06			0,72	
	07			0,63	
	08			0,69	
	09			0,62	
	10			0,54	

Apresentação numérica dos resultados (Continuação)

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Valor individual)	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (Valor médio)
06/ARG.20	01	0,47	20,0	0,54	0,55
	02			0,52	
	03			0,63	
	04			0,69	
	05			0,46	
	06			0,55	
	07			0,54	
	08			0,54	
	09			0,51	
	10			0,78	

Gráfico 08 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração
Representação gráfica dos resultados dos ensaios das resistências de aderência à tração das argamassas com adição de pó de borracha de pneu nas proporções de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 %.

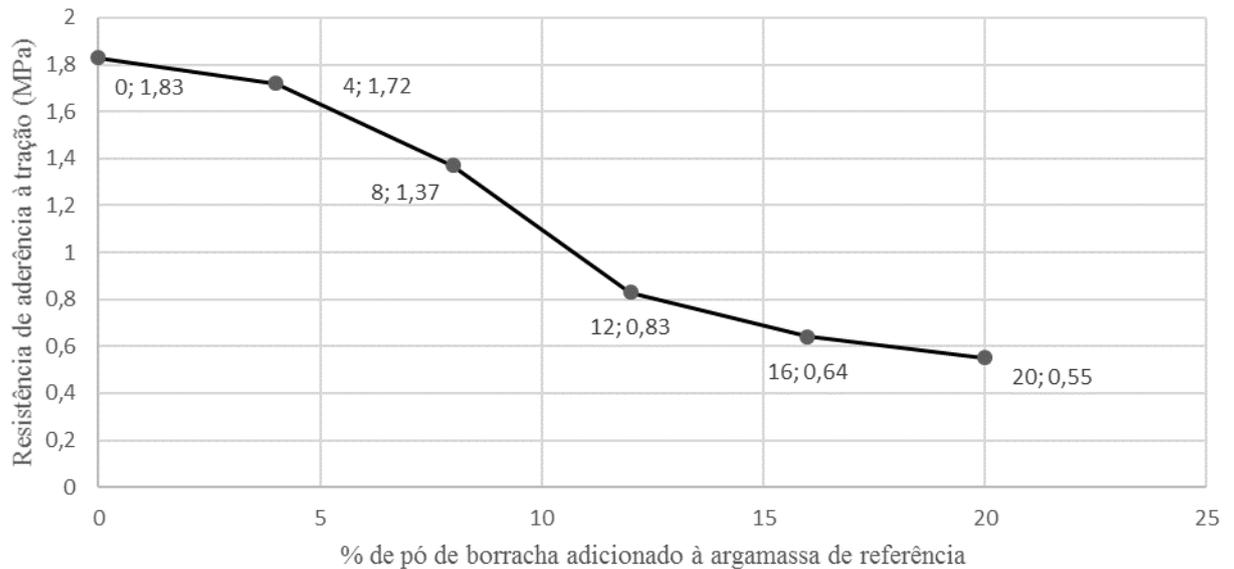
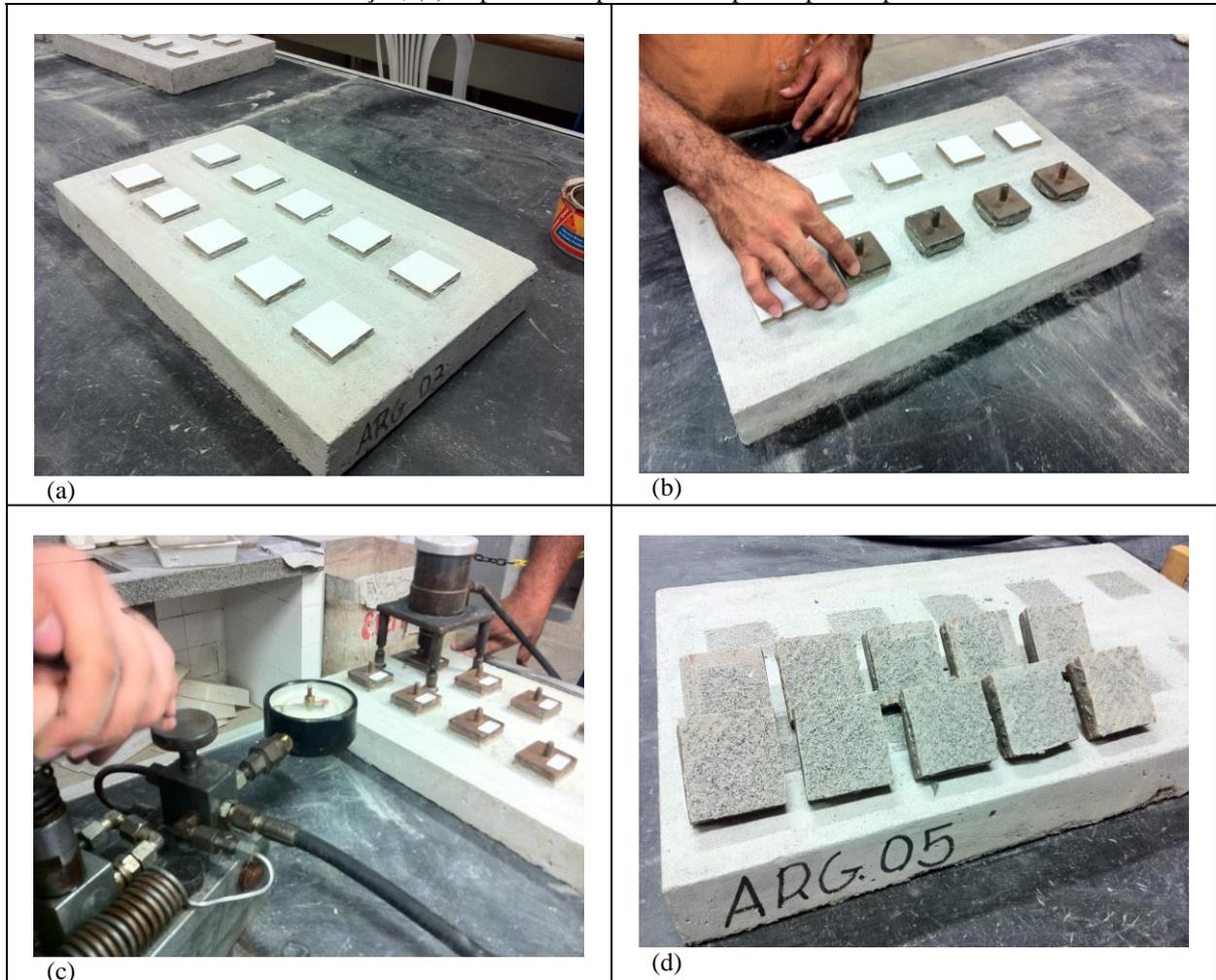


Figura 20 – Resistência de aderência à tração. NBR 14081-4:2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração
 Registro fotográfico dos ensaios: (a) Substrato padrão de concreto e placas cerâmicas de 10 X 10 cm de ensaio; (b) Fixação com adesivo epóxi das placas metálicas para ensaios; (c) Máquina de ensaio de resistência de aderência à tração; (d) Aspecto da ruptura dos corpos de prova após ensaios.



4.3.8 Densidade de massa aparente no estado endurecido

Para a realização desse ensaio, observou-se a NBR 13280:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.

Adotaram-se corpos de prova prismáticos (4 X 4 X 16 cm) para ensaio, moldados conforme NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e compressão.

A NBR 14992:2003 - AR Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios não estabelece requisitos para densidade de massa aparente no estado endurecido. Esse ensaio foi realizado apenas para avaliação

comparativa entre a argamassa de rejuntamento de referência e as argamassas de rejuntamento com adição de pó de borracha de pneu.

Tabela 19 – Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.

Apresentação numérica dos resultados

ARGAMASSA	AMOSTRA	PROPORÇÃO ÁGUA/A.R. ANIDRO	% DE ADIÇÃO DE PÓ DE BORRACHA	DENSIDADE DE MASSA APARENTE (Valor individual)	DENSIDADE DE MASSA APARENTE (Valor médio)
Nº/Referência	Nº		%	kg/dm ³	kg/dm ³
01/ARG.00	01	0,33	0,0	1,64	1,64
	02			1,66	
				1,65	
02/ARG.04	01	0,36	4,0	1,56	1,55
	02			1,56	
				1,53	
03/ARG.08	01	0,39	8,0	1,44	1,44
	02			1,44	
				1,44	
04/ARG.12	01	0,41	12,0	1,28	1,30
	02			1,31	
				1,30	
05/ARG.16	01	0,43	16,0	1,22	1,25
	02			1,27	
				1,26	
06/ARG.20	01	0,47	20,0	1,19	1,21
	02			1,22	
				1,21	

Gráfico 09 – Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.

Representação gráfica dos resultados dos ensaios das densidades de massa aparente das argamassas com adição de pó de borracha de pneu nas proporções de 0, 4, 8, 12, 16 e 20 %.

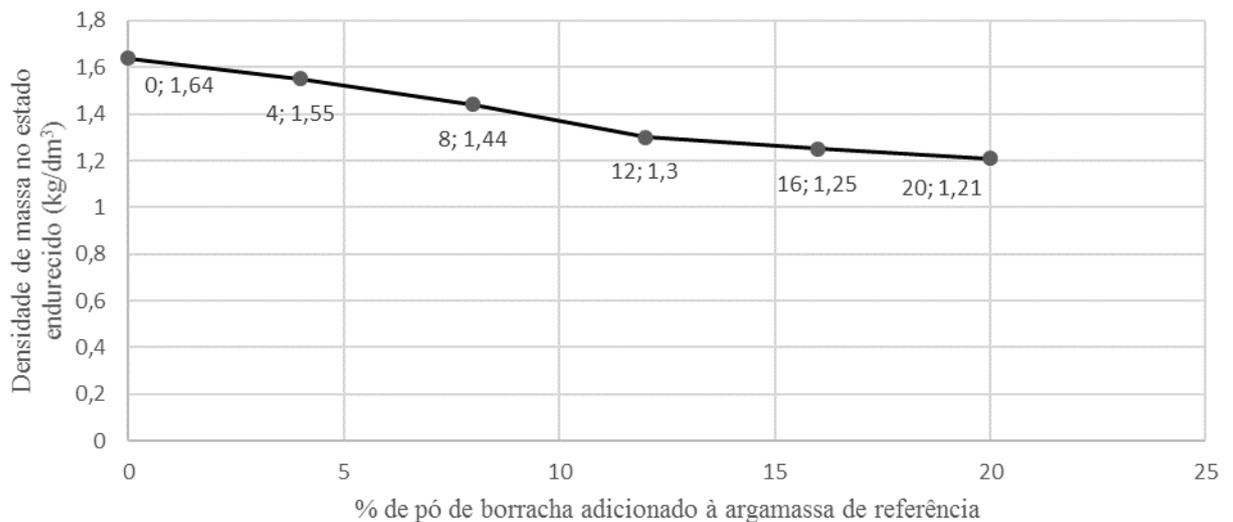
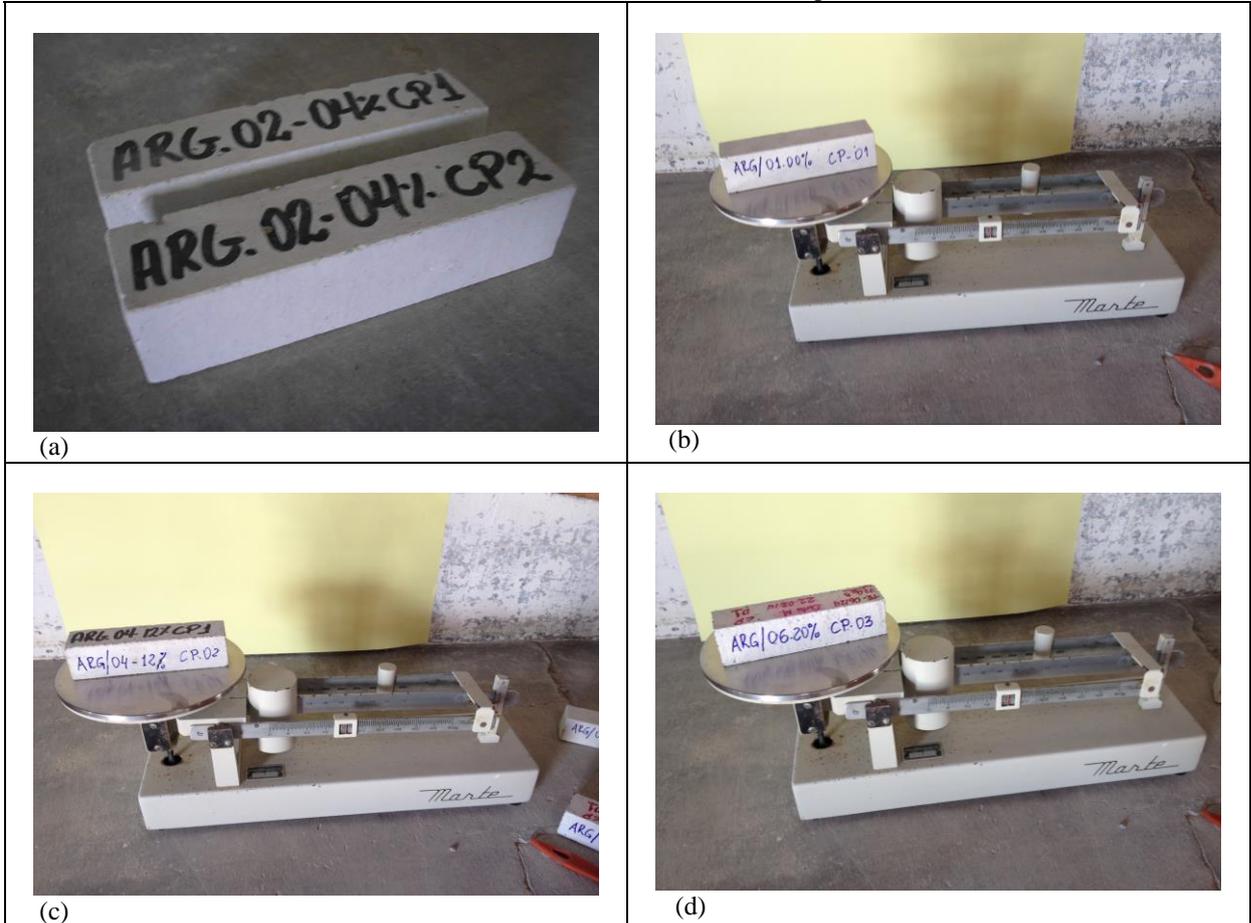


Figura 21 - Densidade de massa aparente no estado endurecido. NBR 13280:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio.

Registro fotográfico dos ensaios: (a) Corpos de prova moldados para ensaio de densidade de massa aparente no estado endurecido; (b), (c) e (d) Ensaios de densidade de massa aparente no estado endurecido.



5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apresenta-se, neste capítulo, a discussão de todos os resultados encontrados na pesquisa, contemplando uma avaliação comparativa desses resultados com o que prescrevem as especificações vigentes das normas técnicas da ABNT inerentes ao material analisado e às possibilidades de sua efetiva aplicação.

Inicia-se resumindo todos os resultados encontrados nos ensaios, em um quadro geral, para possibilitar uma visão abrangente do comportamento do material pesquisado em relação às especificações técnicas da ABNT correspondentes. Sequencialmente, serão apresentadas algumas considerações sobre os resultados obtidos nesta pesquisa, buscando as similaridades e as diferenças entre estes e aqueles encontrados na bibliografia correspondente consultada.

5.1 QUADRO GERAL DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Tabela 20 - Quadro-resumo dos resultados dos ensaios com as argamassas de rejuntamento de referência e as argamassas de rejuntamento de referência com adição de pó de borracha de pneu.

ARGAMASSAS	ARG/01.00	ARG/01.04	ARG/01.04	ARG/01.04	ARG/01.04	ARG/01.04	EXIGÊNCIAS NORMATIVAS
PARÂMETRO AVALIADO	0 % DE PÓ DE BORRACHA	4 % DE PÓ DE BORRACHA	8 % DE PÓ DE BORRACHA	12 % DE PÓ DE BORRACHA	16 % DE PÓ DE BORRACHA	20 % DE PÓ DE BORRACHA	NBR 14992/2003
Índice de consistência NBR 13276/2005 (mm)	280	280	280	280	280	280	(*)
RETENÇÃO DE ÁGUA NBR 14992-B/2003 (mm)	64,1	67,6	74,6	79,2	84,5	88,4	≤ 65
PERMEABILIDADE AOS 240 MINUTOS NBR 14992-G/2003 (cm ³)	0,9	2,9	(**)	(**)	(**)	(**)	≤ 1,0
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO NBR 9781-B/2013 (%)	12,7	14,1	15,6	17,7	19,9	23,8	(***)
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NBR 14992-D/2003 (MPa)	13,8	10,8	8,6	6,1	4,9	3,2	≥ 10,0
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO NBR 13279/2005 (MPa)	2,0	1,5	1,1	0,9	0,7	0,2	≥ 3,0
RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO NBR 14081-4/20012 (MPa)	1,83	1,72	1,37	0,83	0,64	0,55	(****)
DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO NBR 13280/2005 (kg/dm ³)	1,64	1,55	1,44	1,30	1,25	1,21	(*****)

(*) A NBR 14992/2003 não estabelece especificação para índice de consistência para as argamassas de rejuntamento.

(**) A partir do traço 03 - Argamassa com 8,0 % de pó de borracha até o Traço 06 - argamassa com 20,0 % de pó de borracha, a permeabilidade aos 240 minutos foi superior a 3,0 dm³, valor superior à capacidade de medição da coluna de vidro de ensaio.

(***) A NBR 14992/2003 não estabelece especificação para absorção de água por imersão para as argamassas de rejuntamento.

(****) A NBR 14992/2003 não estabelece especificação para resistência de aderência à tração para as argamassas de rejuntamento.

(*****) A NBR 14992/2003 não estabelece especificação para densidade de massa no estado endurecido para as argamassas de rejuntamento.

5.1.1 Índice de consistência – NBR 13276/2005 - Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Preparo da mistura e determinação do índice de consistência

Em virtude de não haver especificação na NBR 14992/2003 para o índice de consistência das argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas, adotou-se, nesta pesquisa, um único índice de consistência, para todas as argamassas analisadas, de 280 mm por ser um valor que confere trabalhabilidade adequada às argamassas durante sua aplicação. Além disso, justifica-se essa escolha tendo em vista o fato de se haver constatado a adoção desse índice de consistência em obras de revestimento de fachadas em Natal - RN.

Observou-se, visualmente (durante a realização dos ensaios de índice de consistência e do manuseio na moldagem dos corpos de prova para os ensaios), que as argamassas de rejuntamento e com as adições de pó de borracha de pneu, adotadas, não apresentaram alteração significativa em relação à reologia.

5.1.2 Retenção de água - NBR 14992 Anexo B/2003 - Anexo B. AR - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios

A NBR 14992 Anexo B/2003 estabelece que as argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas apresentem retenção de água, aos 10 minutos de idade, inferior a 65 mm.

Conforme o quadro geral dos resultados, apenas a argamassa de referência ARG/01.00 apresentou retenção de água aos 10 minutos, inferior ao limite especificado pela norma. Analisando ainda a retenção de água para as argamassas com adição de pó de borracha de pneu, observou-se que a retenção de água diminui gradualmente à medida que se aumenta o valor da adição do pó de borracha.

Também se constatou que a crescente necessidade de adição de água às argamassas com adição de pó de borracha para a obtenção da mesma trabalhabilidade (medida através do índice de consistência), em relação à argamassa de referência, é sugestiva da causa da redução crescente da capacidade de retenção de água das argamassas com adições de pó de borracha de pneu. Não foram encontradas, na bibliografia consultada, referências a esse comportamento das argamassas de rejuntamento com adição de pó de borracha de pneu.

5.1.3 Permeabilidade aos 240 minutos - NBR 14992 Anexo G/2003 - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios

A NBR 14992 - Anexo G/2003 estabelece que as argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas apresentem permeabilidade, aos 240 minutos de idade, inferior a $1,0 \text{ cm}^3$.

Conforme o quadro geral dos resultados, apenas a argamassa de referência ARG/01.00 apresentou permeabilidade, aos 240 minutos de idade, inferior ao limite especificado pela norma. A argamassa de referência com adição de 4 % de pó de borracha apresentou permeabilidade aos 240 minutos, aproximadamente, três vezes superior ao máximo permitido pela norma. Para as demais frações, de 8,0 % até 20,0 % de adição de pó de borracha, a permeabilidade aos 240 minutos de idade foi superior à capacidade de medição da coluna de vidro de ensaio.

Acredita-se que a crescente e elevada permeabilidade aos 240 minutos de idade das argamassas de rejuntamento com a adição crescente de pó de borracha de pneu está associada à maior absorção de água por imersão (NBR 9781 Anexo B/2013) e à menor densidade de massa aparente (NBR 13280/2005) das argamassas com adição crescente de pó de borracha. Também se admite, a partir das observações visuais e do manuseio das argamassas de rejuntamento com adição de pó borracha de pneu, que esse material provoca incorporação de ar às argamassas de rejuntamento, durante a mistura, resultando numa menor compacidade das argamassas com as adições.

5.1.4 Absorção de água por imersão - NBR 9781-B/2013 - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios. Determinação da absorção de água

Pelo fato de não haver método de ensaio nem especificação na NBR 14992/2003 para a absorção de água por imersão das argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas, adotou-

se, nesta pesquisa, para avaliação desse parâmetro, a NBR 9781 Anexo B/2013 - Peças de concreto para pavimentação. Especificação e método de ensaio. Determinação da absorção de água. Essa norma especifica que peças de concreto para pavimentação devem apresentar valor médio para a absorção de água inferior a 6 %.

Como visto no quadro geral dos resultados da pesquisa, os valores encontrados para a absorção de água da argamassa de rejuntamento de referência e para as argamassas com adição de pó de borracha de pneu foram, respectivamente, de 12,7 %, 14,1 %, 15,6 %, 17,7 %, 19,9 % e 23,8 %, todos eles, portanto, muito superiores ao que estabelece a NBR 9781 Anexo B/2013.

Sob o aspecto da durabilidade, infere-se que as argamassas de rejuntamento de revestimento de placas cerâmicas com absorção de água, com essas grandezas, são inadequadas, dadas as condições severas de agressividade a que os revestimentos cerâmicos ficam permanentemente submetidos; especialmente, as variações cíclicas de umidade do ambiente em que normalmente são inseridas.

5.1.5 Resistência à compressão - NBR 14992 Anexo D/2003 - Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas - Requisitos e métodos de ensaios

A NBR 14992 - Anexo D/2003 estabelece que as argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas apresentem resistência à compressão, aos 14 dias de idade, superior a 10,0 MPa.

Conforme o quadro geral dos resultados, apenas as argamassas de referência ARG/01.00 e a argamassa de referência com adição de 4 % de pó de borracha de pneu, ARG/02.04, apresentaram resistências à compressão superiores ao recomendado pela NBR 14992 Anexo D/2003. As demais argamassas, com adição de 8,0 %, 12,0 %, 16,0 % e 20,0 % de pó de borracha de pneu apresentaram, respectivamente, resistências à compressão, aos 14 dias de idade, iguais a 8,6 MPa, 6,1 MPa, 4,9 MPa e 3,2 MPa, inferiores, portanto, ao estabelecido na NBR 14992 -Anexo D:2003.

5.1.6 Resistência à tração na flexão - NBR 13279/2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Método de ensaio

A NBR 14992 - Anexo E/2003 estabelece que as argamassas para rejuntamento de placas cerâmicas apresentem resistência à tração na flexão, aos 7 dias de idade, superior a 3,0 MPa.

Conforme o quadro geral dos resultados, todas as argamassas analisadas, inclusive a argamassa de referência, apresentaram resistência à compressão inferior à recomendada pela NBR 14992 Anexo E/2003.

Destaca-se, ainda, que, à medida que se aumenta a proporção da adição de pó de borracha de pneu às argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas, decresce rapidamente a resistência à tração na flexão.

Sob o aspecto da resistência à tração na flexão, os resultados revelam que a adição de pó de borracha de pneu com diâmetro máximo inferior a 0,3 mm, às argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas, nas frações analisadas, inviabiliza as possibilidades de sua aplicação prática.

5.1.7 Resistência de aderência à tração - NBR 14081-4/2012. Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração

A NBR 14992/2003 não estabelece requisitos para a resistência de aderência à tração para as argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas. Em razão disso, adotou-se, nesta pesquisa, para avaliação desse parâmetro, a NBR 14081-4/2012 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração. A NBR 14081 - Parte 1: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Requisitos estabelece que as argamassas colantes industrializadas para assentamento de placas cerâmicas devem apresentar resistência de aderência à tração mínima (condições de cura normal) de 0,30 MPa para as argamassas do tipo I e II, e de 1,0 MPa para as argamassas do tipo III.

Conforme o quadro geral dos resultados da pesquisa, os valores encontrados para a resistência de aderência à tração de todas as argamassas analisadas atenderam aos requisitos da NBR 14081- Parte 1:2003 para a argamassa tipo I e II e apenas as argamassas de referência

e aquelas com adição de pó de borracha de pneu nas frações de 4,0 % e 8,0 % atenderam ao que essa norma estabelece para as argamassas tipo III.

Justifica-se a realização desses ensaios, embora não esteja previsto na NBR 14992/2003, já que as argamassas de rejuntamento funcionam também aderidas às placas cerâmicas e aos substratos nos sistemas de revestimentos cerâmicos.

5.1.8 Densidade de massa no estado endurecido - NBR 13280/2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Método de ensaio

A NBR 14992/2003 não estabelece requisitos para a densidade de massa no estado endurecido para as argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas. Adotou-se, nesta pesquisa, para avaliação desse parâmetro, a NBR 13280/2005 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido - Método de ensaio. Não há também especificações para a densidade de massa no estado endurecido para as argamassas de assentamento e revestimento de paredes e tetos. Esse é um parâmetro usualmente avaliado, em geral, apenas para composição do peso próprio total das alvenarias e das lajes nos projetos estruturais.

De acordo o quadro geral dos resultados da pesquisa, os valores encontrados para a densidade de massa no estado endurecido para as argamassas analisadas, apresentam significativa redução da densidade de massa à medida que são adotadas frações maiores de pó de borracha de pneu. Essa redução chega a atingir 35,6 %, quando se compara as densidades da argamassa de rejuntamento de referência e a argamassa de rejuntamento de referência com adição de 20 % de pó de borracha de pneu.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresenta-se a seguir, as conclusões extraídas do universo dos resultados obtidos nesta pesquisa:

constatou-se que a adição de pó de borracha de pneu (nas proporções de 4, 8, 12, 16 e 20 %, com diâmetro máximo inferior a 0,3 mm, tratado com sabão em pó antiespumante doméstico) às argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas não conferiu nenhum ganho de desempenho dessas argamassas em relação aos oito parâmetros avaliados;

constatou-se que quanto mais cresce a proporção da adição do pó de borracha de pneu às argamassas, mais decresce, sistematicamente, o desempenho destas para todos os parâmetros analisados;

constatou-se que as argamassas com as adições de pó de borracha de pneu, nas condições acima descritas, de forma geral, não atenderam às especificações das normas correspondentes, adotadas na pesquisa, com exceção da resistência de aderência à tração;

constatou-se ainda que as adições de pó de borracha de pneu às argamassas de rejuntamento, no estado fresco, não alteram, visivelmente, a reologia dessas argamassas;

constatou-se, por fim, que os resultados, assim obtidos, frustraram as expectativas das possibilidades de aplicação prática da adição de pó de borracha de pneu às argamassas de rejuntamento de placas cerâmicas.

REFERÊNCIAS

- AFSHINNIA, K.;POURSAEE, A. *The influence of waste crumb rubber in reducing the álcali-sílica reaction in mortar bars. Journal of Building Engineering* 4, p. 231-326.2015.
- ALBANO, C.; CAMACHO, N.; REYES, J.L.; HERNANDEZ. M. *Influence of scrap rubber addition to Portland I concrete composites: Destrutive and non-destrutive testing. Composite Structure* vol. 71, p.439-446.2005.
- ANGELIN, A. F.; ANDRADE, M. F.F.; BONATTI, R.; LINTZ, R.C.C.;GACHET-BARBOSA, L.A.; OSÓRIO, W.R. *Effects of spheroid and fiber like waste-tire rubbers on interrelation of strength-to-porosity in rubberized cement and mortars. Constrution and Building Materials. Vol. 95. p.525-536. 2015.*
- ARAÚJO, N. N. **Desempenho de argamassas de revestimento produzias com agregados reciclados oriundos de resíduo de construção e demolição da grande Natal/RN.** Dissertação (Pós-graduação), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14992/2003. **A. R. – Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios.** Anexo A - Preparo da mistura, Anexo B - Determinação da retenção de água, Anexo C - Determinação da variação dimensional, Anexo D - determinação da resistência à compressão, Anexo E - Determinação da resistência à tração na flexão, Anexo F - Determinação da absorção de água por capilaridade e anexo G - determinação da permeabilidade.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276/2005. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9781/2013 - **ANEXO B. Peças de concreto para pavimentação. Especificação e métodos de ensaios - Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279/2005 - **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e a compressão.** Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-4/2012 - **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4. Determinação da resistência de aderência à tração.** Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13280/2005 - **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido.** Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 26/2001. **Agregados.** Amostragem. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 27/2001. **Agregados. Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45/2006. **Agregados. Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46/2003. **Agregados. Determinação do material fino que passa através da peneira 0,075 m, por lavagem. Rio de Janeiro 2003.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 248/2003. - **Agregados. Determinação da composição granulométrica.** Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

BARBOSA, L. A. G.; JACINTHO, A. E. P. G. A. **Concreto convencional com adição de pó de borracha reciclada de pneus: estudo das propriedades mecânicas.** Estudos tecnológicos. Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas-SP, Campinas, São Paulo. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 327, de 25 de abril de 2003. Ministério do Meio ambiente, Câmara Técnica de Educação Ambiental, Conselho Nacional do Meio Ambiente, n. 82, 2003. Seção 1, p. 197.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 422, de 23 de março de 2010. **Diretrizes para as campanhas, ações e projetos de educação ambiental,** n. 56, 2010. p. 91.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 301, de 21 de março de 2002. **Pneumáticos,** n. 166, 2003. Seção 1, p. 120.

BRETAGNE, E.; QUÉNEUDEC, M; ROUIS, M. J.; TURKI, M. *Construction and Building Materials. Microstructure, physical and mechanical properties of mortar-rubber aggregates mixtures.* Elsevier, Tunisia, 2008.

CORINALDESI, V.; MAZZOLI, A.; MORICONI, G.; ELSEVIER. *Materials and Design. Mechanical behaviour and thermal conductivity of mortars containing waste rubber particles.* Elsevier, Italy, 2010.

CORREIA, S. L.; LOCH, F. C.; PARTALA, T.; SEGADÃES, A. M. *Composite Structures. Factorial design used to model the compressive strength of mortars containing recycled rubber.* Elsevier, Portugal, 2009.

ELTON BAUER, C. H. A. F. F.; SILVA, L. S. P. da. **Contribuição das partículas finas para modificação dos parâmetros reológicos em argamassa.** Universidade de Brasília. Brasília-DF. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas. 2013.

FERREIRA, C. R. G. **Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de argamassas e resíduos de borracha.** Dissertação (Pós-graduação), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN. 2009.

FIORITO, A. J. S. **Manual de argamassas e revestimentos.** 1. ed. São Paulo: PINI, 1994.

GOMES, L.V. R. **Estudo de métodos de ensaio e comportamento físico e mecânico de argamassas para rejuntamento.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo, Niterói-ES. 2008.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal fundamentos e aplicações na engenharia civil.** 1. ed. São Paulo: PINI, 1997.

JING LV, TIANHUA ZHOU, QUIANG DUHANHENG WU. *Effect of rubber particles on mechanical properties of lightweight aggregate concrete.* Construction and Building Materials . V. 91, p. 145-149. 2015.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: Influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis.** Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP. 2003.

MAGALHÃES, T. C. M. **Influência da pigmentação e/ou da quantidade de aditivo hidro-repelente na patologia de desagregação da argamassa de rejuntamento.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG. 2008.

MAS, E. **Revestimentos. Sistemas de revestimento.** *Cerâmica.* São Paulo, n. 4, p. 36.

MEDEIROS, J. S. **Patologia de fachada.** O descolamento começa pela junta. *Téchne.* São Paulo, n. 109, p. 27.

MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com o emprego de pó de borracha.** Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP. 2003.

MELO. M. C. S. **Estudo de argamassas adicionadas de cinzas de algaroba geradas no arranjo produtivo local de confecções do agreste pernambucano.** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru-PE. 2012.

NACIF, G.L.; PANZERA, T. H.; STRECHER, K.; CHRISFOFORO, A.L.; PAINE, K. *Investigations on cementitious composites based on rubber particle waste additions.* Materials Research. Vol. 16, p. 259-268. 2013.

PAES, I. N. L.; CARASEK, H. **Desempenho das argamassas de rejuntamento no sistema de revestimento cerâmico.** Universidade de Brasília. Brasília-DF. 2001.

RODRIGUES, M.R.P.; FERREIRA, O.P. **Compósito cimentícios com adição de partículas de borracha de pneus inservíveis.** Revista Minerva – Pesquisa & Tecnologia. Vol. 6. N. 3. 2009.

SANTOS, M. L. I. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassa para a construção civil.** Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN. 2008.

SANTOS, R.M. **Efeito da adição de partículas de borracha de pneus nas propriedades físico-mecânicas de compósito cimentícios.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São João Del Rei – MG. 2012.

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

THOMAZ, E. **Patologia de fachada. O descolamento começa pela junta.** *Téchne*. São Paulo, n. 108, p. 36.

TURATSINZE, A.; BONNET, S.; GRANJU, L.-L. *Potential of rubber agregattes to modify properties of cement based-mortars: Improvement in cracking shrinkage resistance.* *Construction and Build Materials*. 21. P. 176-181. 2007.

VEIGA. V. D. **Influência da combinação sílica/negro de fumo e das etapas de processamento no desempenho de bandas de rodagem de pneu de carga.** Dissertação (Mestrado). Engenharia e Ciência dos Materiais da Universidade de Caxias do Sul (UFSC). Caxias do Sul, 2015.