



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

CÉSAR RECH

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM
ARGAMASSAS COM ÊNFASE NA RETRAÇÃO**

CAXIAS DO SUL

2022

CÉSAR RECH

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM
ARGAMASSAS COM ÊNFASE NA RETRAÇÃO**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil apresentado à Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para obtenção no título de Bacharel em Engenharia civil.

Orientador:

Prof. Me. Vinício Cecconello

CAXIAS DO SUL

2022

CÉSAR RECH

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS EM
ARGAMASSAS COM ÊNFASE NA RETRAÇÃO**

Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Civil apresentado à Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos para obtenção no título de Bacharel em Engenharia civil.

Aprovado em / /

Banca examinadora

Prof. Me. Vinício Cecconello

Universidade de Caxias do Sul

Prof. Me. Maurício Schäfer

Universidade de Caxias do Sul

Prof. Me. Bruno Rommel Cattani Sartori

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais Cristina e Euclides pelo zelo e apoio sem os quais não seria possível a conclusão desta etapa. Também, pelo incentivo ao estudo desde sempre transmitido.

Agradeço aos amigos e familiares pelos momentos de alegria que me deram força para seguir em frente e pela compreensão quando tive de me fazer ausente.

Agradeço ao meu orientador Vinício, pelo suporte, paciência e conhecimento passado no desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Maurício pela disponibilidade e contribuição oferecida nas revisões realizadas.

Agradeço também ao professor Bruno Rommel pela disponibilidade para atuar como avaliador externo.

Agradeço aos laboratoristas da Universidade de Caxias do Sul, César e Mara pela colaboração e auxílio nas atividades propostas.

Por fim agradeço aos colegas de curso que tornaram a jornada mais leve e enriquecedora, contribuindo de forma substancial ao meu crescimento.

RESUMO

RECH, César. **Análise da utilização de borracha de pneus inservíveis em argamassas com ênfase na retração.** 2021. TCC(Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2021.

Temos que o revestimento argamassado tem a função de proteção das nossas estruturas, mas para que ele possa se fazer de uso frente as manifestações patológicas, principalmente as ligadas a fissuras. Devemos analisar diversos fatores que interferem em sua estrutura, portanto o presente trabalho temos como objetivo analisar a utilização de resíduos de borracha de pneus em argamassas visando a redução na retração. Foram analisados os ensaios no estado fresco, no qual consistem nos ensaios de índice de consistência, massa específica, teor de ar incorporado. Os ensaios no estado endurecido, procederam-se os ensaios de resistência à tração na flexão e à compressão, absorção de água por capilaridade e o ensaio de retração. Na presente pesquisa foi realizado a substituição do agregado miúdo pelo agregado de borracha nas respectivas porcentagens de 1,8%, 2,4%, 3% e 3,5% (em massa), para o ensaio de retração foram realizadas as leituras nas idades de 1 dia, 7 dias e 28 dias após as 48 horas de cura nos moldes para os traços de. Os ensaios de resistência a tração na flexão e à compressão foram feitos as leituras nas idades de 7 dias, 14 dias e 28 dias após a desforma, isso para todos os traços da presente pesquisa. Os resultados encontrados na pesquisa demonstraram que o aumento do teor de borracha nas argamassas, acarreta em um aumento na porcentagem de ar incorporado a argamassa. Foi demonstrado também que o aumento da borracha tende a uma redução nas resistências mecânicas, e uma redução na capacidade de absorção por capilaridade. Mas como foco principal temos que o aumento no teor de borracha nas argamassas, tendendo a um aumento no teor de ar incorporado, ajudando no processo de retração por secagem, reduzindo assim as tensões que podem ser geradas, com isso reduzindo manifestações patológicas ligadas as fissuras.

ABSTRATC

RECH, Cesar. **Analysis of the use of waste tire rubber in mortars with emphasis on shrinkage**. 2021. TCC (Graduation) – Civil Engineering Course, Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2021.

We have that the mortar coating has the function of protecting our structures, but so that it can be used in the face of pathological manifestations, especially those linked to cracks. We must analyze several factors that interfere in its structure, so the present work aims to analyze the use of tire rubber residues in mortars in order to reduce shrinkage. For that, prismatic specimens were molded to evaluate the possible reduction in their dimensional variation. Tests were analyzed in the fresh state, which consist of tests of consistency index, specific mass, content of incorporated air. The tests in the hardened state, the tests of tensile strength in bending and compression, water absorption by capillarity and the retraction test were carried out. In the present research, the replacement of the fine aggregate by the rubber aggregate was carried out in the respective percentages of 1.8%, 2.4%, 3% and 3.5% (by mass), for the shrinkage test, the readings were carried out in the ages of 1 day, 7 days and 28 days after 48 hours of curing in the molds for the traces of. The flexural and compressive tensile strength tests were performed at the ages of 7 days, 14 days and 28 days after de-moulding, this for all traits of the present research. The results found in the research showed that the increase in the rubber content in the mortars, leads to an increase in the percentage of air incorporated into the mortar. It was also shown that the increase in rubber tends to a reduction in mechanical strength, and a reduction in the absorption capacity by capillarity. But as main focus we have the increase in the rubber content in the mortars, tending to an increase in the incorporated air content, helping in the drying shrinkage process, thus reducing the tensions that can be generated, thereby reducing pathological manifestations linked to fissures.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
NBR	Norma Brasileira.
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto.
ANIP	Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos.
INSA	Institut National de Sciences Appliquées
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
ASMT	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de prova
TCC	Trabalho de conclusão de curso
μm	Micrómetro (10^{-6} m)
m	Metro
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
cm	Centímetro
cm^3	Centímetro cúbico
mm	Milímetro
mm/m	Milímetro por metro
g	Gramma
g/cm^3	Gramma por centímetro cúbico
Kg	Quilograma
Kg/m^3	Quilograma por metro cúbico
N/s	Newton por segundo
CO_2	Dióxido de carbono

$Ca(OH)_2$	Hidróxido de cálcio
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
C-S-H	Silicato de Cálcio
°C	Grau Celsius

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Camadas do revestimento em argamassa	11
Figura 2 Revestimento de argamassa camada única	12
Figura 3 Ilustração do mecanismo de retração total.....	16
Figura 4 Representação esquemática da retração química da pasta de cimento com: (a) baixo grau de hidratação; (b) alto grau de hidratação.....	17
Figura 5 Causas das manifestações patológicas nos revestimentos de argamassa	19
Figura 6 Retenção de água das argamassas com a quantidade de borracha	21
Figura 7 Variação da absorção por capilaridade.....	24
Figura 8 Resultado do ensaio de resistência à tração na flexão	24
Figura 9 Módulo de Elasticidade.....	25
Figura 10 Comparador de expansibilidade	30
Figura 11 Microscopia da argamassa - 500µm	31
Figura 12 Programa Experimental.....	33
Figura 13 Curva granulométrica do agregado miúdo	36
Figura 14 Granulometria das composições com borracha	38
Figura 15 Medição do índice de consistência.....	41
Figura 16 Ensaio de absorção por capilaridade	43
Figura 17 Vedação para evitar perda de umidade nas primeiras 48 horas.	44
Figura 18 Gráfico de Densidade de massa e Teor de ar incorporado das argamassas.....	47
Figura 19 Gráfico de resistência à tração na flexão	49
Figura 20 Gráfico de resistência à compressão axial.....	50
Figura 21 Gráfico de absorção de água por capilaridade.....	52
Figura 22 Gráfico de média da variação dimensional	54
Figura 23 Gráfico de média da variação de massa	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Espessuras admissíveis para camada de revestimento de argamassa	12
Quadro 2 Manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa pg. 1-2	19
Quadro 3 Manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa pg. 2-2	20
Quadro 4 Comparativo de diversos traços de argamassa com borracha (Continua pág. 1-3).	26
Quadro 5 Comparativo de diversos traços de argamassa com borracha (Continuação pág.2-3).	27
Quadro 6 Comparativo de diversos traços de argamassa com borracha (Continuação pág.3-3).	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Propriedades das argamassas no estado fresco	20
Tabela 2 Propriedades avaliadas no estado endurecido	22
Tabela 3 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão	23
Tabela 4 Caracterização do cimento.....	35
Tabela 5 Resultados da caracterização do cimento	35
Tabela 6 Caracterização do agregado miúdo.....	36
Tabela 7 Determinação granulométrica do agregado miúdo	37
Tabela 8 Caracterização do agregado miúdo.....	37
Tabela 9 Características físicas da borracha.....	38
Tabela 10 Quantitativo de cada material para realização dos ensaios	40
Tabela 11 Índice de consistência.....	46
Tabela 12 Resistência à tração na flexão	48
Tabela 13 Resistência à compressão axial.....	50
Tabela 14 Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade	51
Tabela 15 Média da variação dimensional e desvio absoluto.....	53
Tabela 16 Dados obtidos de variação dimensional dos três corpos-de-prova.....	54
Tabela 17 Dados obtidos da variação de massa dos três corpos-de-prova.....	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	QUESTÃO DA PESQUISA	8
1.2	OBJETIVOS	8
1.2.1	Objetivo geral	8
1.2.2	Objetivos específicos	8
1.3	HIPÓTESE	9
1.4	DELIMITAÇÕES	9
1.5	LIMITAÇÕES	9
1.6	DELINEAMENTO	9
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO	11
2.1	ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO	11
2.1.1	Propriedades no estado fresco	13
2.1.2	Propriedades no estado endurecido	14
2.1.2.1	<i>Retração</i>	15
2.1.3	Manifestações patológicas em argamassas	18
2.2	ANÁLISES DAS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO COM A UTILIZAÇÃO DE BORRACHA VULCANIZADA	20
2.3	ANÁLISES DAS PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO COM ADIÇÃO DE BORRACHA VULCANIZADA	22
2.4	QUADRO COMPARATIVO COM DIVERSOS TRAÇOS DE ARGAMASSAS COM BORRACHA	26
2.5	FISSURAÇÕES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO	29
2.5.1	Fatores que condicionam a fissuração	29
2.5.2	Ensaio para avaliar a retração	30
2.5.3	Ensaio para avaliação da interação entre a argamassa e o resíduo de pneu	31
2.5.4	Ensaio da movimentação superficial do revestimento	32
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS	34
3.1.1	Cimento	34

3.1.2	Cal hidratada	35
3.1.3	Agregado miúdo natural	35
3.1.4	Borracha vulcanizada e composições com borracha	37
3.2	PREPARAÇÃO DA ARGAMASSA.....	39
3.3	ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO.....	40
3.3.1	Determinação do índice de consistência	40
3.3.2	Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado	41
3.4	ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO.....	42
3.4.1	Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão	42
3.4.2	Determinação da absorção por capilaridade	43
3.4.3	Ensaio de variação dimensional (retração ou expansão linear)	44
4	RESULTADOS E ANÁLISES.....	46
4.1	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	46
4.1.2	Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	47
4.2	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	48
4.2.1	Resistência à tração na flexão	48
4.2.2	Resistência à compressão axial	50
4.2.3	Absorção de água por capilaridade.....	51
4.3	VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, estamos cada vez mais envolvidos com a preservação ambiental, a busca pela sustentabilidade é cada vez mais recorrente. Nessa linha de raciocínio, a construção civil é um dos setores que vem desenvolvendo grandes tecnologias em cima da reutilização de resíduos sólidos provenientes de outros setores, e vem reutilizando-os nas edificações e pavimentações (CINTRA; PAIVA; BALDO, 2014).

Um dos grandes problemas que encontramos nas cidades é o descarte inadequado de pneus inservíveis, por ser um material que demora em degradar, devido a sua grande durabilidade. Segundo a estimativa da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), no Brasil, de janeiro a dezembro de 2020, a Reciclanip coletou cerca de 42,2 milhões de pneus inservíveis.

Propostas já foram realizadas para resolver o problema no descarte de pneus, como em obras de contenções das margens de rio e construção de quebra mares (GANIRON Jr, 2014), como também através da trituração dos pneus a utilização do produto dessa trituração em indústrias ou até mesmo na pavimentação asfáltica como ligante, para fins rodoviários (PCZIECZEK, 2017).

Podemos também viabilizar a utilização de desse resíduo triturado de pneu, em argamassas para revestimento, já comentava Canova, Bergamasco, Neto (2015) uma alternativa que é possível contribuir com a melhora das propriedades de deformabilidade da argamassa é a introdução do pó de borracha. Por ser um material elástico, garante uma queda nas resistências mecânicas das argamassas, além da alta capacidade de absorver energia e maior capacidade de absorver deformações.

Para tanto já dizia Philippsen (2020) o revestimento em argamassa não se faz necessário o ganho de altas resistências mecânicas, porém devido às tensões que surgem em consequência da dilatação térmica de seus componentes, é desejável que os mesmos tenham boas propriedades térmicas e elásticas. Logo é possível uma viabilização para utilização da borracha em nossas argamassas.

Além dos problemas que podemos resolver no que se refere à preservação ambiental, podemos também nos deparar com um material que poderá auxiliar nas manifestações patológicas ligadas a fissuração. Na pesquisa realizada por Canova, Bergamasco, Neto (2015) as adições do pó de borracha em argamassas, interferiram

na resistência a compressão e à tração, mas ajudaram no teor de ar incorporado, módulo de deformação e na absorção de água.

E para tanto o presente trabalho tem como objetivo a avaliação na utilização do agregado de borracha em argamassas visando uma redução na variação dimensional da mesma, e assim reduzindo o aparecimento de manifestações patológicas ligadas a fissurações.

1.1 QUESTÃO DA PESQUISA

Visando à substituição do agregado miúdo por borracha vulcanizada em argamassas para revestimento, a pesquisa consiste se é possível uma redução das fissuras que acontecem em revestimentos.

1.2 OBJETIVOS

Para o presente trabalho iremos avaliar um objetivo geral, e através do mesmo iremos seguir para algumas análises para que possamos entender melhor o comportamento da argamassa com a adição da borracha vulcanizada.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar as propriedades das argamassas de revestimento, com composições parciais em borracha vulcanizada.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar as propriedades no estado fresco da argamassa de revestimento convencional, e das argamassas compostas com borracha vulcanizada;
- b) Avaliar as propriedades no estado endurecido das argamassas de revestimento convencionais, e das argamassas compostas com pó de borracha;
- c) Analisar o ensaio de retração ou expansão linear em argamassas.

1.3 HIPÓTESE

Na presente pesquisa a hipótese é que se encontrarmos uma redução na variação dimensional e por consequência uma argamassa com um menor módulo de elasticidade, conseguiremos uma argamassa de revestimento com capacidade de absorver deformações, logo permitindo a flexibilidade do material e possibilitando a diminuição das tensões de tração. Teremos de avaliar também que a dosagem do pó de borracha é experimental o que pode acarretar em problemas nas propriedades da argamassa.

1.4 DELIMITAÇÕES

As argamassas serão constituídas de um traço de 1:1:6 em volume e serão acrescentadas as proporções de 1,8%, 2,4%, 3% e 3,5% em relação a massa do agregado. O traço adotado do autor PCZIECZEK (2017), os teores foram em menores quantidades para analisar as suas resistências mecânicas e as variação dimensional.

1.5 LIMITAÇÕES

O presente trabalho fica limitado para análise dos ensaios nos equipamentos fornecidos pelo laboratório de materiais da construção civil da UCS, e aos testes para verificação da borracha utilizada pelo laboratório de polímeros da UCS.

1.6 DELINEAMENTO

O presente trabalho é estruturado a partir de cinco etapas. A primeira reserva-se a fundamentação da importância do trabalho realizado além da apresentação dos problemas pertinentes a pesquisa. Assim, esta etapa é composta por introdução, questão de pesquisa, objetivos, hipóteses, delimitações e limitações.

A segunda etapa abrange a revisão bibliográfica, onde se buscou o embasamento significativo ao trabalho, por meio de fontes confiáveis de diferentes livros, artigos, monografias, dissertações e teses. Na terceira etapa será exposta a descrição dos materiais e produtos utilizados, bem como os procedimentos e normas seguidos no desenvolvimento da pesquisa. Já a quarta parte apresentará as análises e discussões dos resultados encontrados a partir do programa experimental proposto.

Finalmente, a quinta etapa é reservada para as considerações finais expondo as conclusões obtidas com a pesquisa.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Para o presente trabalho teremos que fazer uma revisão bibliográfica sobre as argamassas, dando ênfase em suas propriedades, como também as suas manifestações patológicas, principalmente a que se remetem as fissuras. Logo abaixo iremos separar esse estudo em subtítulos, para o melhor entendimento de cada.

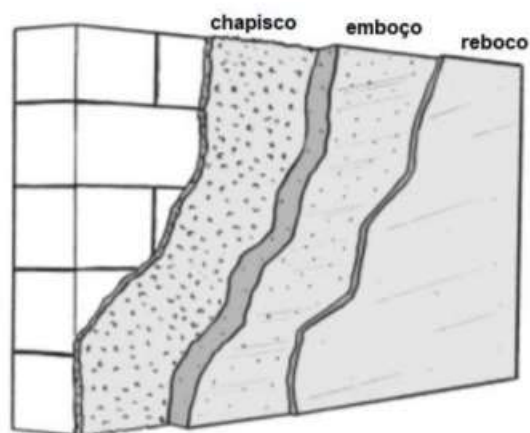
2.1 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

De acordo com Fiorito (2009, pg. 29), “as argamassas são definidas como sendo a mistura de aglomerantes e agregados com água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência”, para tanto uma argamassa nada mais é que um material que pode ser usado para revestimento por possuir uma aderência um endurecimento que pode vir a ajudar na estanqueidade e proteção da estrutura.

As argamassas são avaliadas em diversas maneiras, quanto sua plasticidade, consistência, aglomerante e até mesmo quanto sua forma de fornecimento (PCZIECZEK, 2017). Assim atribuindo fatores que irão indicar a trabalhabilidade das argamassas, ou até mesmo o uso quanto ao tipo de revestimento a ser empregado.

As argamassas possuem diferentes empregos sobre o substrato, isso difere conforme as proporções entre os constituintes da mistura (conforme NBR 13529 (ABNT, 2013). A Figura 1 demonstra as diferentes camadas aplicadas sobre o substrato segundo a NBR 13529 (ABNT, 2005).

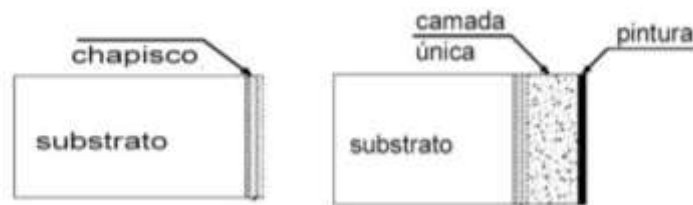
Figura 1 Camadas do revestimento em argamassa



Fonte: ABCP (200-, p.12).

Alem do revestimento que encontramos na Figura 1, possuímos também o revestimento de argamassa conhecido como emboço paulista, que também é chamado de camada única ou massa única, no qual consiste de uma argamassa aplicada diretamente sobre o chapisco ou até mesmo sobre o substrato (CARASEK, 2007). No qual será o tipo de revestimento de iremos empregar no presente trabalho. Na Figura 2 é mostrada a execução no substrato do emboço paulista.

Figura 2 Revestimento de argamassa camada única



Fonte: Adaptado de Carasek (2007).

Uma vez que seja executada a argamassa como revestimento de parede, ela deve conter uma espessura que fique dentro da NBR 13749 (ABNT, 2013), para que muitas vezes possa se corrigir o desaprumo de uma parede interna, ou para que não ocorra um deslocamento da mesma. O Quadro 1 mostra as espessuras admissíveis para a camada de revestimento de argamassa.

Quadro 1 Espessuras admissíveis para camada de revestimento de argamassa

Revestimento	Espessura (mm)
Parede Interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede Externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos	$e \leq 20$

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013).

Quanto à forma de fornecimento das argamassas de revestimento, podem ser preparadas no local, com um traço que irá corresponder às necessidades da edificação, e ao clima da região. Ainda podemos encontrar argamassas que em sua composição são adicionados aditivos que lhes fornecem propriedades especiais, tais aditivos podem ser plastificantes, retentores de água e incorporadores de ar (FERREIRA, 2010).

Segundo Silva (2011, pg.43) o revestimento de argamassa tem como função proteger as vedações e a estrutura contra agentes agressivos, servir como isolamento termoacústico, impedir a penetração de água/gases, segurança ao fogo, e função estética. Para tanto tais funções estão ligados diretamente à qualidade e durabilidade do revestimento de argamassa, estando assim associado às propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

2.1.1 Propriedades no estado fresco

Na **massa específica** avaliamos a relação entre a massa do material e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa. Na absoluta não consideraremos os vazios no volume do material. Já na relativa, também chamada de **massa unitária**, consideramos os vazios. Logo tanto a massa unitária como o teor de ar vão interferir na trabalhabilidade das argamassas, como exemplo temos que quanto menor a massa específica e maior o teor de ar melhor será a trabalhabilidade (BAÍA E SABBATINI, 2008)

Pelo **índice de consistência** podemos definir a relação água/cimento de nossa argamassa e correlacionando diretamente a possibilidade de deformação. Logo a **trabalhabilidade** que nada mais é, que a facilidade na aplicação do revestimento, e está diretamente ligada a consistência (CINCOTTO, SILVA E CASCUDO, 1995).

As forças físicas de atração existentes entre a partícula sólida da argamassa e às ligações químicas da pasta estão relacionadas pela **coesão**. Já na **tixotropia** fazemos o uso transformações isotérmicas do material, do estado sólido para o estado gel (CINCOTTO, SILVA E CASCUDO, 1995).

Já na **retenção de água** analisamos a capacidade da argamassa de ter a água de amassamento contra a sucção pelo substrato ou contra a evaporação. Segundo Baía e Sabbatini (2008, pg. 17) “uma rápida perda de água compromete a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica, e, com isso a durabilidade e a estanqueidade do revestimento e da vedação ficam comprometidas”. Contudo na maturação prévia da pasta de cal ou da argamassa podemos obter uma melhora quanto a capacidade retenção de água, ajudando assim na hidratação do cimento (CINCOTTO, SILVA E CASCUDO, 1995).

Na propriedade de **adesão inicial** que é a característica da argamassa de unir-se a uma base. Para tanto na aderência da argamassa ao substrato podemos

encontrar três tipos de mecanismos, a aderência instantânea, que é obtida pelo vácuo formado no processo de deformação que a argamassa sofre quando projetada na superfície que compõe o substrato, como também na macroancoragem que são feitas por saliências encontradas nas superfícies dos blocos, no qual a argamassa projetada fica presa à superfície, e na microancoragem encontramos intertravamento da etringita nos poros (RECENA, 2012).

2.1.2 Propriedades no estado endurecido

Na propriedade de **resistência mecânica** que é a capacidade da argamassa de resistir a tensões de tração, compressão ou cisalhamento às quais o revestimento pode estar submetido (CINCOTTO, SILVA E CASCUDO, 1995). E também está ligada a resistência ao desgaste superficial e resistência ao impacto.

Já comenta Baía e Sabbatini (2008, pg. 24) “que a resistência mecânica aumenta com a redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação água/cimento”. Podemos dizer também que a resistência mecânica aumenta com uma granulometria mais uniforme do agregado.

Para tanto na **elasticidade ou capacidade de deformação**, que seria a disposição que a argamassa tem em deformar sem que ocorra ruptura, retornando assim as dimensões iniciais (CINCOTTO, SILVA E CASCUDO, 1995). Podemos dizer então que a elasticidade é fundamental para determinação das fissuras. Avaliamos esta propriedade pelo seu módulo de elasticidade, uma vez que encontramos um menor valor no módulo, maior será a capacidade de absorver deformações.

Para tanto o **módulo de elasticidade** é relatado pela rigidez da argamassa no estado endurecido que é proporcionado pelo cimento hidratado, pelo interligamento entre as partículas dos agregados, devido à forma e rugosidades dos grãos e pelos teores de ar incorporado e de material pulverulento (SILVA E CAMPITELI, 2008).

Na **permeabilidade** ligamos essa propriedade a estanqueidade da edificação à água e gases, uma vez que tal propriedade caracteriza-se pela passagem de água, através da argamassa já no estado endurecido por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou difusão de vapor de água (CINCOTTO, SILVA E CASCUDO, 1995). A permeabilidade contribui também para a avaliação de outras propriedades como: porosidade, umidade nos poros, resistência mecânica, fissuração e etc (SENTONE, 2011).

Na **aderência** temos como a propriedade que é influenciada diretamente pelas condições da base, como a porosidade e absorção da água, resistência mecânica, textura superficial, bem como também pela forma de assentamento dos elementos da base (CINCOTTO, SILVA E CASCU DO, 1995). Claro que não podemos deixar de lado a própria forma de execução do revestimento se de forma manual, ou por projetor de argamassa.

2.1.2.1 *Retração*

Segundo Cincotto, Silva e Cascudo (1995) “dentre as propriedades da argamassa no estado endurecido, a retração tem papel fundamental no desempenho do revestimento quanto à estanqueidade e durabilidade. Uma vez ocorrendo fissurações advindas dos diferentes tipos de retração, o revestimento argamassado perde suas principais funções.

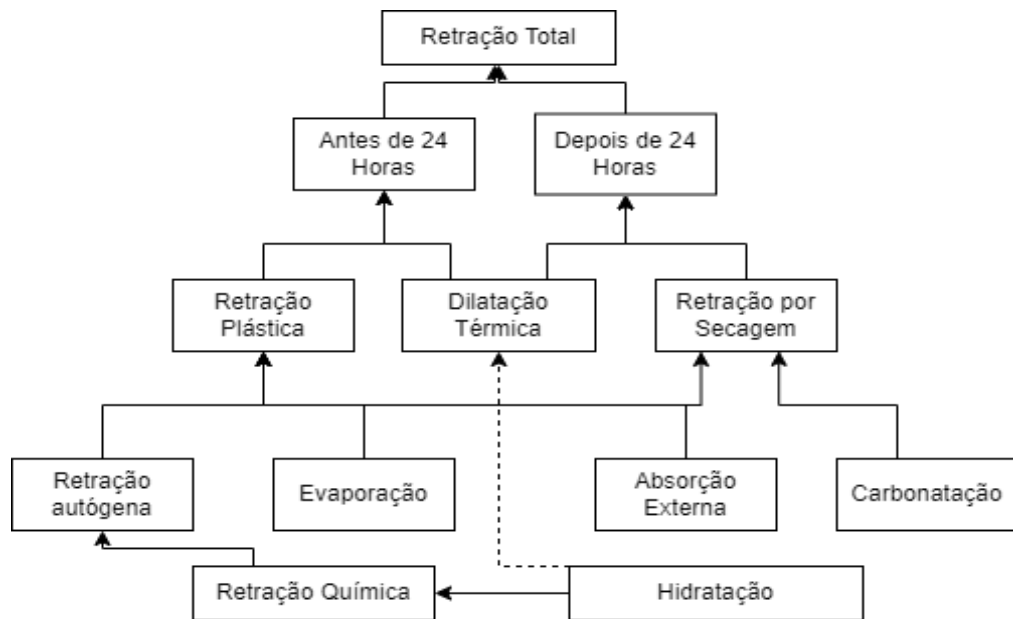
Na retração ocorre o processo de hidratação do cimento, que se estende até idades avançadas, estando ligada em parte pela perda de água para o meio externo (CECCONELLO, 2013). Ocorrendo também no revestimento argamassado a perda de água pela sucção do substrato.

A retração também é influenciada pelo teor de materiais pulverulentos e pelo volume de água de amassamento (CARASEK, 2010). Quanto maior o teor de finos, maior a demanda mais água de amassamento para uma melhor trabalhabilidade, logo maior a retração.

Na pesquisa de Pczieczek (2017, pg.52), ele comenta que é importante a secagem da argamassa de forma lenta, para que a mesma possa atingir uma resistência de tração necessária para suportar as tensões internas. Uma vez que ocorra a perda de água para o substrato, ou para o exterior e até mesmo para a hidratação do cimento, tais tensões ficaram mais visíveis ocasionando assim as fissurações.

Já comenta (SILVA, 2011 apud ESPING, 2007) que os mecanismos que agem sobre a retração total se distinguem entre estado plástico e endurecido conforme mostra o diagrama da Figura 3.

Figura 3 Ilustração do mecanismo de retração total



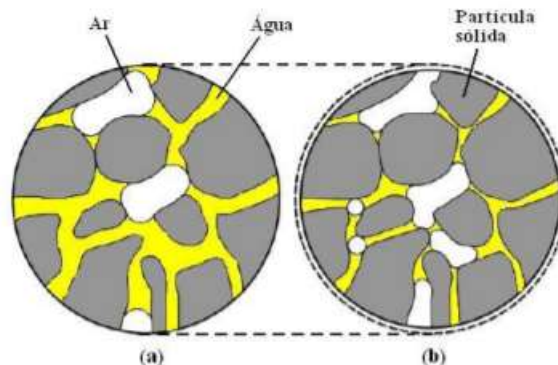
Fonte: Esping (2007).

Podemos encontrar na **retração autógena** as deformações do material cimentício em condições isotérmicas não sujeita à forças externas, advinda da hidratação do cimento e sem alteração de temperatura (JENSEN E HANSEN, 2001). Temos como confirmação da retração autógena, a contração química que ocorre na pasta cimentícia, quando ocorre a hidratação das partículas de cimento (AÏTCIN, 2003)

É que a retração autógena deforma de maneira linear crescente nos primeiros anos, propiciando a aumentar em temperaturas mais altas, e com o acréscimo de teores de cimentos mais finos (NEVILLE, 1997), mas podemos considerar que cimentos com teores pozolana tendem a reduzir a retração autógena (CECCONELLO, 2013).

Segundo a pesquisa de Jensen e Hansen (2001) no processo de hidratação do cimento, encontraram expansão do material sólido, um refinamento da estrutura dos poros, aumento do volume de poros vazios devidos á retração química, e um aumento da retração devido ao incremento da tensão superficial da água nos poros. Na Figura 4, encontramos uma representação esquemática.

Figura 4 Representação esquemática da retração química da pasta de cimento com: (a) baixo grau de hidratação; (b) alto grau de hidratação.



Fonte: Jensen e Hansen (2001).

Na carbonatação o processo ocorre devido quando os produtos de hidratação do cimento reagem com o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera (CECCONELLO, 2013). Segundo Silva (2011) “a velocidade de carbonatação depende do teor de umidade do compósito e da umidade relativa do ambiente, sendo que a quantidade de carbonatação depende do tipo e consumo dos aglomerantes, principalmente do cimento”.

Ainda segundo Silva (2011) a espessura do revestimento de argamassa ou do concreto é um fator determinante na carbonatação, pois a umidade liberada pela reação do CO_2 com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ deve sofrer difusão a fim de manter o equilíbrio higroscópico entre o interior do compósito e a atmosfera. Logo a **retração por carbonatação** é decorrente, provavelmente, da dissolução de cristais de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que se faz presente sob a tensão de compressão resultante da saída de água, e pela deposição do CaCO_3 em espaços não sujeitos à tensão (NEVILLE, 1997). Dizendo assim que a carbonatação sendo um fenômeno caracterizado pela existência de uma frente de avanço que separa duas zonas com PH bastante diferentes.

A **retração por secagem** que ocorre no estado endurecido é consequência do movimento da água. A reação do cimento com a água resulta na formação do silicato de cálcio (C-S-H), no qual os espaços vazios são ocupados pela água (SILVA, 2011). No decorrer da secagem do material cimentício, diferenças de pressões removem a água adsorvida dos poros e forças hidrostáticas (tensões capilares) formam meniscos que executam tensões no esqueleto do C-S-H, propiciando a retração na pasta de cimento (WEISS, 1999).

Segundo Cecconello (2013, pg.35) “a perda de água, seguida de contração do concreto ainda no estado plástico, decorrente da evaporação da água da superfície, ou ainda devido a perda de água por sucção da base, acarreta na **retração plástica**”, é dito que a mudança de volume devido ao adensamento e retração plástica tem por causas a retração química, as contrações devido ao menisco da água entre as partículas na superfície (HAMMER, 2001).

2.1.3 Manifestações patológicas em argamassas

É evidente as deficiências nas argamassas, elas possuem manifestações patológicas que muitas vezes ocasionam trincas, fissuras, descolamentos, eflorescências, umedecimentos e manchas. Por esse motivo Carasek (2010, p.903) comenta que “o revestimento de argamassa deve apresentar capacidade de absorver pequenas deformações, para se deformar sem ruptura ou por meio de microfissuras, de maneira a não comprometer a sua aderência, estanqueidade e durabilidade”.

Os principais problemas relacionados às manifestações patológicas estão ligados a erros de dosagem de água e de aditivos, execução de camadas pouco ou muito espessas, falta de uniformidade das argamassas e até falta de limpeza do substrato (SEGAT, 2005). Mas não podemos deixar de avaliar que tais manifestações podem se originar também do traço que é usado nas argamassas e do material, uma vez que a falta de um projeto de revestimento adequado a tal obra, podemos encontrar problemas de fissuras, que podem ser causadas pelo erro no traço utilizado.

Outro problema que encontramos para redução de custos é a redução na espessura do revestimento argamassado, resultando em problemas que são suscetíveis das movimentações higrotérmicas. Na real a utilização da argamassa para redução de gastos em uma construtora não é muito viável, já comenta Segat (2005, pg.44) que “o revestimento externo apresenta, segundo cálculos em uma construtora, na ordem de 3% do custo total da obra”.

Além de tudo que citamos acima como causas de problemas patológicos, devemos de colocar como relevância cinco causas de manifestações patológicas em revestimento de argamassa, citadas por (CINCOTTO, 1988), que iremos demonstrar na Figura 5.

Figura 5 Causas das manifestações patológicas nos revestimentos de argamassa



Fonte (Cincotto, 1988).

Ainda podemos encontrar traços de argamassa fraca que podem até ocasionar problemas de aderência ao substrato, ou então deficiências na carbonatação da cal no revestimento com muita espessura (SEGAT, 2005). Em resumo o Quadro 2 e 3 de Cincotto, Silva e Cascudo (1995) apresentam as principais manifestações patológicas encontradas em compostos cimentícios quando ligadas a problemas de fissuração. Podendo identificar as principais causas determinantes. Não tratando fissuras causadas pela ação de outros componentes do edifício.

Quadro 2 Manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa pg. 1-2

Manifestações	Aspectos observados	Causas prováveis com ou sem simultaneidade	Fase de origem segundo as decisões tomadas
Fissuras Horizontais	Apresentam-se ao longo de toda a parede, com aberturas variáveis. Deslocamento do revestimento em placas com som cavo sob percussão.	Expansão da argamassa de assentamento por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal. Expansão argamassa de assentamento por reação cimento-sulfetos, ou devido a presença de argilo-minerais expansivos.	-Especificação de materiais. -Produção da argamassa. -Execução em obra.

Quadro 3 Manifestações de desempenho inadequado dos revestimentos de argamassa pg. 2-2

Fissuras Mapeadas	Distribuem-se por toda a superfície do revestimento em monocamada. Pode ocorrer o deslocamento do revestimento em placas, de fácil desagregação.	Retração da argamassa por excesso de finos de agregado, cimento como único aglomerante, água de amassamento.	-Especificação de materiais. -Produção da argamassa. -Execução em obra.
Fissuras Geométricas	Acompanham o contorno do componente da alvenaria.	Retração da argamassa de assentamento por excesso de cimento ou de finos no agregado. Movimentação higrotérmica do componente	-Especificação de materiais. -Produção da argamassa. -Execução em obra. -Projeto do edifício.

Fonte: Adaptado pelo autor, de Cincott, Silva e Cascudo (1995).

2.2 ANÁLISES DAS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO COM A UTILIZAÇÃO DE BORRACHA VULCANIZADA

Na pesquisa feita por Pcziecsek (2017) ele utilizou o traço em volume de 1:1:6 para fazer as argamassas de referência (REF) e nas argamassas que ele intitulou de B5 e B10 ele substituiu o agregado miúdo por 5% e 10%, na ordem, por pó de borracha vulcanizada. Logo para as propriedades no estado fresco os ensaios apresentaram os resultados mostrados na Tabela 1.

Tabela 1 Propriedades das argamassas no estado fresco

Argamassa	Relação água/cimento	Índice de consistência (mm)	Massa específica (g/cm ³)	Teor de ar incorporado (%)	Retenção de água (%)
REF	2,04	253	1,995	2	80
B5	1,93	255	1,920	5	81
B10	1,83	250	1,805	10	82

Fonte: Adaptado pelo autor, de Pcziecsek (2011).

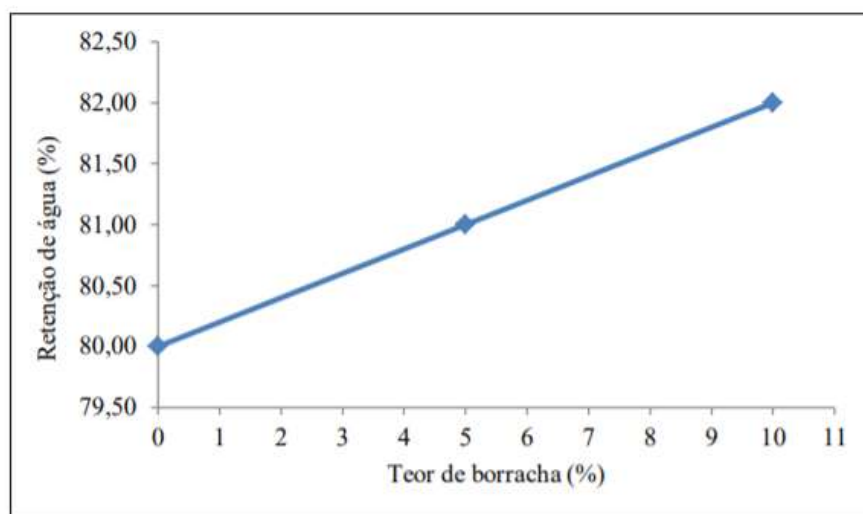
Podemos verificar que com o aumento da substituição do pó ocorreu uma redução na massa específica, deve-se a baixa massa unitária e da massa específica dos resíduos utilizados. O menor valor de massa específica encontrada foi de $1,805 \text{ g/cm}^3$ o que não a classifica como argamassa leve, já que para serem argamassas leves devem ter de menos de $1,40 \text{ g/cm}^3$ (CARASEK, 2010).

Devemos levar em consideração também o teor de ar incorporado, uma vez que o mesmo possa contribuir para trabalhabilidade, porém valores elevados podem atrapalhar na resistência de aderência a tração no substrato, A ASTM C270 (ASTM, 2007) postula que o teor de ar incorporado em argamassas com cal não deve ser maior que 14%.

Outra propriedade fundamental é a retenção de água, uma perda acelerada de água pode reduzir a resistência, a adesão e a capacidade de absorver deformações, além de diminuir a durabilidade e a impermeabilização da argamassa (PCZIECZEK, 2011), porém a adição de pó de borracha em % maiores tendem a diminuir a resistência, mas tende a aumentar a capacidade de deformação (CANOVA; BERGAMASCO; NETO, 2007).

Desta forma segundo a Figura 6, podemos avaliar que a retenção de água só aumentou em sua pesquisa, constatando uma melhora na trabalhabilidade por um tempo maior, mesmo quando imposta por solicitações que provocam a perda de água de amassamento (PCZIECZEK, 2011)

Figura 6 Retenção de água das argamassas com a quantidade de borracha



Fonte: Pczieczek(2011).

Na pesquisa realizada por Gomes (2020) no qual ele foi um pouco mais além e utilizou a substituição de 15% e 20% do volume da areia pelo pó de borracha, adotados como CP15 e CP20 respectivamente, e na densidade de massa ele encontrou os mesmo resultados no que se refere a diminuição da massa específica, no teor de ar incorporado mesmo chegando com 20% de substituição ele encontrou os 12% o que acaba ficando abaixo do máximo comentado pela ASTM C270 (ASTM, 2007) para não comprometer a aderência a tração no substrato, e na retenção de água se manteve acima de 90%.

Podemos analisar que nos trabalhos estudados neste capítulo, o aumento na proporção de substituição ou adição de borracha acaba por acarretar uma diminuição da relação a/c, aumentando o teor de ar incorporado dando uma melhor trabalhabilidade, e com uma melhora na retenção de água poderemos ver nos próximos ensaios uma melhora na resistência, quanto à capacidade de deformar, porem podendo acarretar uma diminuição na sua durabilidade e permeabilidade.

2.3 ANÁLISES DAS PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO COM ADIÇÃO DE BORRACHA VULCANIZADA

Na utilização de 5% e 10% de pó de borracha a massa específica das argamassas no estado endurecido com a retenção de água, é possível constatar que as argamassas de menor densidade também são aquelas que apresentaram maior absorção de água (PCZIECZEK, 2011). Os resultados obtidos para a massa específica das argamassas no estado endurecido, a absorção de água e o índice de vazios estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Propriedades avaliadas no estado endurecido

Argamassa	Massa específica (g/cm ³)	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)
REF	2,602	18,36 ± 0,03	32,32 ± 0,08
B5	2,498	20,93 ± 1,65	34,30 ± 0,97
B10	2,464	21,81 ± 0,24	34,96 ± 0,19

Fonte: adaptado pelo autor, de Pczieczeck (2011).

Os resultados encontrados por Pczieczech (2011) quanto a resistência a tração na flexão e a compressão das argamassas aos 28 dias de cura são demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão

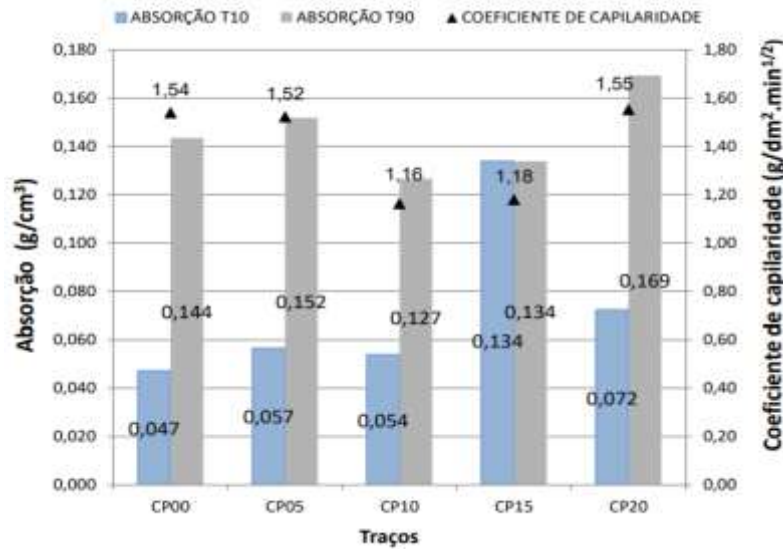
Argamassa	Resistência à tração na flexão 28 dias (MPa)	Resistência à compressão 28 dias (MPa)
REF	0,45 ± 0,09	3,34 ± 0,22
B5	0,48 ± 0,02	3,11 ± 0,23
B10	0,49 ± 0,05	2,77 ± 0,22

Fonte: adaptado pelo autor, de Pczieczech(2011).

O aumento na resistência à tração a flexão não era esperado, pois acreditava que, com o aumento de borracha na composição da argamassa, houvesse diminuição na resistência à tração na flexão (PCZIECZEK, 2011). Tal comportamento foi verificado por Benazzouk et al. (2004), onde uma fração da energia que chega ao redor das partículas de borracha através das microfissuras é absorvida, atrasando o seu retorno a matriz de cimento, impedindo que sua ruptura seja rápida, logo com a adição de borracha, se faz de uma energia maior para que ocorra a fratura total.

Na pesquisa feita por Gomes (2020), ela aplica os ensaios de absorção por capilaridade, no qual foi possível traçar as curvas de absorção que são demonstradas na Figura 7, no qual segundo Faria et al. (2007) a absorção representa a quantidade de água que é absorvida pela argamassa através dos poros capilares, o que denota uma argamassa mais permeável, e também mais suscetível a ataques de agentes externos.

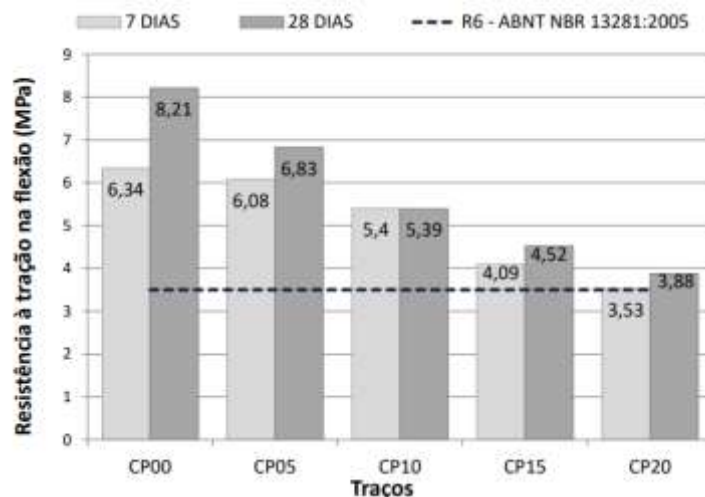
Figura 7 Variação da absorção por capilaridade



Fonte: Gomes (2020).

Temos que com o aumento no teor de borracha utilizada, é esperado uma redução na resistência à tração na flexão (GOMES, 2020). O que contraria um pouco os resultados obtidos de resistência a tração por (PCIZECZEK, 2011), porem os traços entre os autores são diferentes o que acaba resultando uma maior resistência por (GOMES, 2020). Demonstrado na Figura 8.

Figura 8 Resultado do ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Gomes (2020).

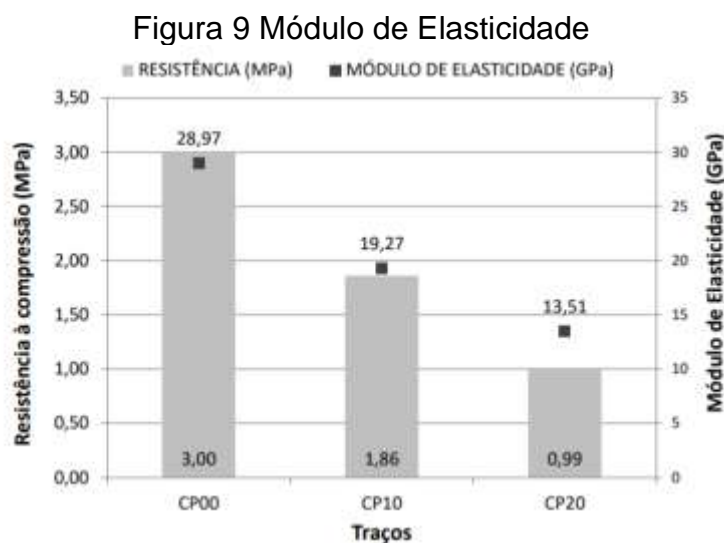
Embora as argamassas estudadas tenham por Gomes (2020) apresentaram uma queda nas resistências à tração na flexão, todas as amostras atenderam aos requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005), sendo classificadas como R6, ou seja, com valores acima de 3,5 MPa.

E como esperado na resistência a compressão Gomes (2020) encontra também uma redução significativa com o aumento no teor de borracha na argamassa, porem todas as amostras atenderam aos requisitos da NBR 13281(ABNT, 2005), sendo classificadas como P6, ou seja, com valores acima de 8,0 MPa.

Tal redução tanto nas resistências a tração na flexão, como na compressão, a argamassa com borracha se deve a uma maior fragilidade da zona de transição, maior porosidade da argamassa que é de consequência do ar retido na argamassa durante seu preparo (PCIECZEK et al., 2017), e também do resultado a substituição do agregado areia que possui uma resistência mecânica maior que a da borracha (CANOVA et al., 2015).

Segundo Gomes (2020, pg. 109) devido ao aumento da porosidade da pasta e a menor adesão entre os resíduos de borracha à matriz cimentícia, é esperado uma diminuição das resistências à tração na flexão assim como na resistência à compressão, e consequentemente uma queda no módulo de elasticidade. O que acaba auxiliando. Perante a queda do módulo de elasticidade, é esperado que ocorra uma mudança nos ensaios de fissuração, uma vez que o mesmo esteja ligado a este tipo de manifestação patológica das argamassas.

Os resultados obtidos por Gomes (2020) vieram dos ensaios de ultrassom, para determinar o módulo de elasticidade nos traços, CP0, CP10 e CP20, que são indicados na Figura 9.



Fonte: Gomes (2020).

Para tanto os ensaios estudados pelos autores demonstraram que as argamassas com a adição de borracha obtiveram um aumento na absorção de água, reduzindo assim sua estanqueidade e aumentando os riscos de infiltração de agentes externos, e também reduzindo suas resistências a tração na flexão e a compressão na qual comprometeria ainda mais a resistência às trações internas que podem vir a ocorrer, porém o módulo de elasticidade diminuiu, empregando a argamassa uma melhora na deformabilidade do material, ajudando na fissuração.

2.4 QUADRO COMPARATIVO COM DIVERSOS TRAÇOS DE ARGAMASSAS COM BORRACHA

Com diversos estudos com a utilização da borracha vulcanizada podemos citar vários autores, No Quadro 4, 5 e 6 encontraremos alguns desses autores.

Quadro 4 Comparativo de diversos traços de argamassa com borracha (Continua pág. 1-3).

Autor	Traço(Ci:Cal:Ar)	Ensaio e Análises realizadas	% de Substituição ou % de Adição	Conclusão (>) Maior (<) Menor
Ferreira (2009)	Traço de 1: 0: 5	Índice de consistência, granulometria absorção de água por capilaridade, resistência mecânica. Ensaio térmico.	Adição de 10%, 20%, 30%. 40% e 67,5%.	> índice de consistência; < resistência à compressão e na resistência à tração; > absorção de água; < condutividade térmica.

Quadro 5 Comparativo de diversos traços de argamassa com borracha (Continuação pág.2-3).

Turki et al. (2009)	Traço de 1: 0: 3	Análises zona de transição interfacial entre os agregados de borracha e a matriz de cimento, Porosidade	Substituição de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.	> Porosidade; < resistências à flexão e compressão.
Uygunoğlu e Topçu (2010)	Traço de 1: 0: 3.	Resistência à compressão e na resistência à tração por flexão, módulo de elasticidade, índice de porosidade, retração.	Substituição de 10%, 20%, 30%, 40% e 50%.	< resistência à compressão e na resistência à tração por flexão; < módulo dinâmico de elasticidade; > porosidade das argamassas; < retração por secagem.
Pedro et al. (2012)	Traço de 1: 0: 4.	Índice de consistência massa volúmica, resistência à flexão e à compressão, absorção de água por capilaridade, susceptibilidade à fendilhação, aderência ao suporte, módulo de elasticidade dinâmico, permeabilidade ao vapor de água, resistência ao choque.	0%, 5%, 10% e 15% em substituição da areia, com uma curva granulométrica idêntica da mesma.	> Desempenho em nível de deformabilidade; > Comportamento à fendilhação; < resistências; < Módulo dinâmico de elasticidade; > Permeabilidade a vapor.

Quadro 6 Comparativo de diversos traços de argamassa com borracha (Continuação pág.3-3).

Canova et al. (2015)	Traço de 1: 1,5 :9.	Consistência, a massa específica e o teor de ar incorporado, além da retenção de água, no estado plástico; a resistência à compressão axial e diametral, a resistência à tração por, o módulo de deformação estática e a absorção de água por imersão, no estado endurecido; e a resistência de aderência à tração ao substrato. Para a fissuração foi realizada a medida no revestimento.	Adições de pó de borracha nas proporções (6%, 8%, 10% e 12%)	<p>> Teor de ar incorporado;</p> <p>> Trabalhabilidade;</p> <p>< Massa específica;</p> <p>< Resistência à compressão e à tração;</p> <p>> Teor de ar incorporado;</p> <p>< Módulo de deformação estática;</p> <p>>Absorção de água;</p> <p>> Na resistência a fissuração.</p>
----------------------	---------------------	--	--	---

Fonte: Autor (2022)

Com um aumento no teor de ar incorporado, podemos ligar diretamente a um maior índice de vazios, uma maior trabalhabilidade, um peso específico menor, conseqüentemente uma resistência mecânica menor, e um menor módulo de elasticidade. E obviamente um nível de porosidade maior dando a ênfase numa maior taxa de absorção de água e maior permeabilidade.

Podemos também comentar sobre o módulo de elasticidade ser afetado pela resistência do material e pela densidade do mesmo, e uma quantidade maior de borracha. Uma vez que quando obtivermos uma densidade de massa menor, com um índice de vazios maior, uma menor resistência, obteremos um menor módulo de elasticidade (SILVA, 2006), e conseqüentemente uma maior chance de deformação sem que ocorra micro fissuras.

Atribuindo também o papel importante ao tipo de granulometria que é encontrada. Uma vez que a granulometria fosse mais contínua, poderemos encontrar uma melhora na resistência a tração das argamassas, e com os grãos mais finos pode-se obter uma melhora na trabalhabilidade e coesão na interface agregado/pasta (LARRARD, 2009). Embora o uso da borracha influencie diretamente em um menor módulo de elasticidade e em uma diminuição nas resistências mecânicas, o traço utilizado por muitos desses autores foi um traço rico, e a granulometria contínua encontrada em seus traços, os ajudaram em suas resistências mecânicas.

Podemos citar também que a adição de borracha na argamassa possibilitou um aumento para com a retenção de água (PCZIECZEK, 2016). Que acaba ajudando na retração plástica, que é influenciada pela perda de água pelo substrato ou pela evaporação (CECCONELLO, 2013).

2.5 FISSURAÇÕES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

A fissuração é letal ao desempenho, à durabilidade e à qualidade estética de revestimentos de argamassas e concretos. Tais fissuras comprometem a estética da edificação, e tornam os revestimentos vulneráveis às infiltrações de água e gases, comprometendo a sua durabilidade.

2.5.1 Fatores que condicionam a fissuração

Fissuras são manifestações patológicas provenientes do alívio de tensões entre os elementos em contato, ou mesmo entre as partes de um elemento. Tais fissuras podem surgir na fase jovem, nas 24 horas iniciais, ou até mesmo mais adiante. As origens e os locais são variados (FERREIRA, 2014).

O composto cimentício acaba gerando tensões internas em sua cura, que por sua vez fica impedido de deformar-se livremente, isso acaba causando fissurações. Segundo Silva (2011, pg. 120) “No caso de revestimento, a restrição à deformação é imposta pelo substrato ao qual a argamassa foi aplicada e, também, pelos inertes, entre outros, que oferecem restrições principalmente nos instantes iniciais após a mistura”.

Dentre os fatores que condicionam as fissuras temos as movimentações térmicas, no que são movimentações que ocorrem em função da junção de materiais com diferentes coeficientes de dilatação térmica, que uma vez analisado em uma

estrutura com um todo, criam uma tensão interna gerando assim fissuras (LORDSLEEM JR., 1997).

Podemos destacar também as movimentações higroscópicas, no que se remete muitas vezes da expansão do material por meio de uma saturação, seguido de uma contração do mesmo após a secagem, dado isso tensões são geradas devido as movimentações entre a argamassa e o substrato. Tais tensões geram manifestações patológicas, que por sua vez causa microfissuras (SAHEDE, 2005). E podemos encontrar também retrações provenientes das reações de hidratação do cimento, como também a perda de água, gerando assim também tensões internas durante o processo de cura da argamassa (FIORITO, 2009).

2.5.2 Ensaio para avaliar a retração

Para os ensaios de retração possuímos diversos estudos em métodos para a avaliação. No Brasil, as medidas da retração por secagem e da retração autógena de argamassas no estado endurecido são realizadas em corpos de prova prismáticos de 25 x 25 x 285 mm normalizado pela NBR 15261 (ABNT, 2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). A medida da variação dimensional é feita pelo aparelho comparador de expansibilidade, conforme ilustra a Figura 10.

Figura 10 Comparador de expansibilidade



Fonte: Autor, 2022.

Segundo Bastos et al.(2001) ele demonstra uma metodologia de retração no estado fresco, no qual o equipamento foi desenvolvido no INSA de Toulouse, França.

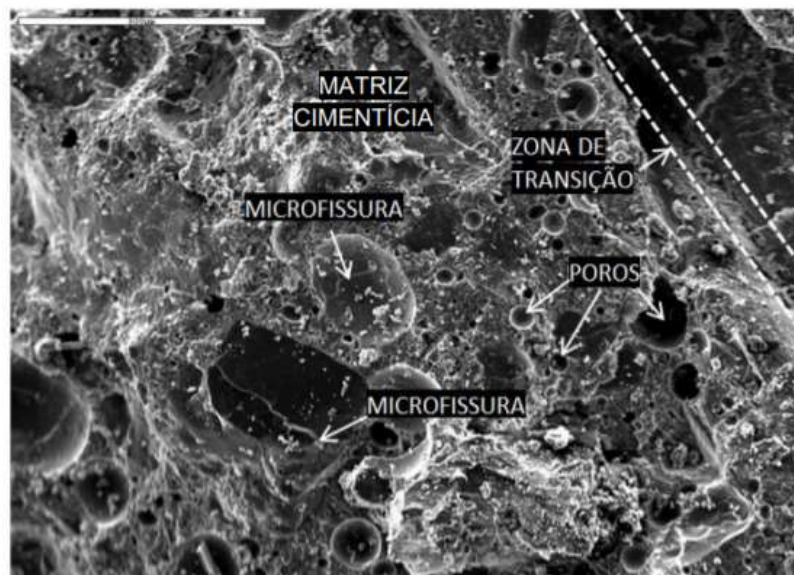
Ainda segundo o mesmo autor o estudo permitiu observar a importância da parcela da retração nas primeiras 24 horas após a moldagem para a caracterização de argamassas, que pode chegar a 70% da retração aos 28 dias. Diante a metodologia avaliada deve ser melhorada devido à falta de influência no que se refere à aderência a base, o que torna a metodologia muito distante do real acontecido em obra.

2.5.3 Ensaio para avaliação da interação entre a argamassa e o resíduo de pneu

Neste ensaio são inúmeras as pesquisas realizadas por autores como Covaes (2018), Gomes (2020), Turatsinze et al. (2005) entre outros que utilizam a microscopia eletrônica de varredura (MEV), para avaliar a microestrutura do composto cimentício.

Segundo Gomes (2020) nas imagens feitas pelo MEV são possíveis verificar a aderência entre a pasta e o agregado miúdo, algumas microfissuras ocasionadas na interface do agregado miúdo e matriz. Através das imagens do MEV, também são possíveis a verificação da zona de transição entre o resíduo de borracha e a matriz cimentícia é evidenciada pela Figura 11.

Figura 11 Microscopia da argamassa - 500µm



Fonte: Gomes (2020).

Segundo Mehta e Monteiro (2014), a espessura na zona de transição tem grande influência na durabilidade e nas propriedades mecânicas. Na pesquisa realizada por Raffoul et al. (2016), fica evidenciado pelas imagens da MEV que a hidrofobicidade e a textura da borracha enfraquecem a ligação da matriz cimentícia,

verificaram também uma maior porosidade e uma zona de transição maior que a argamassa convencional.

2.5.4 Ensaio da movimentação superficial do revestimento

A execução de tal ensaio vem da necessidade de conhecer melhor as consequências da retração ocasionada pela retirada de água das argamassas de revestimento, por absorção do substrato e pela evaporação. Deve-se salientar que o principal objetivo é avaliar a movimentação superficial do revestimento.

Ensaio realizado por Pereira (2007) no qual consiste de placas de concreto de 50x50x 6 cm de espessura, no qual para preparação do substrato ele realiza a execução do chapisco industrial e convencional, e logo em seguida a execução da argamassa de revestimento com variações de 15 mm e 30 mm de espessura.

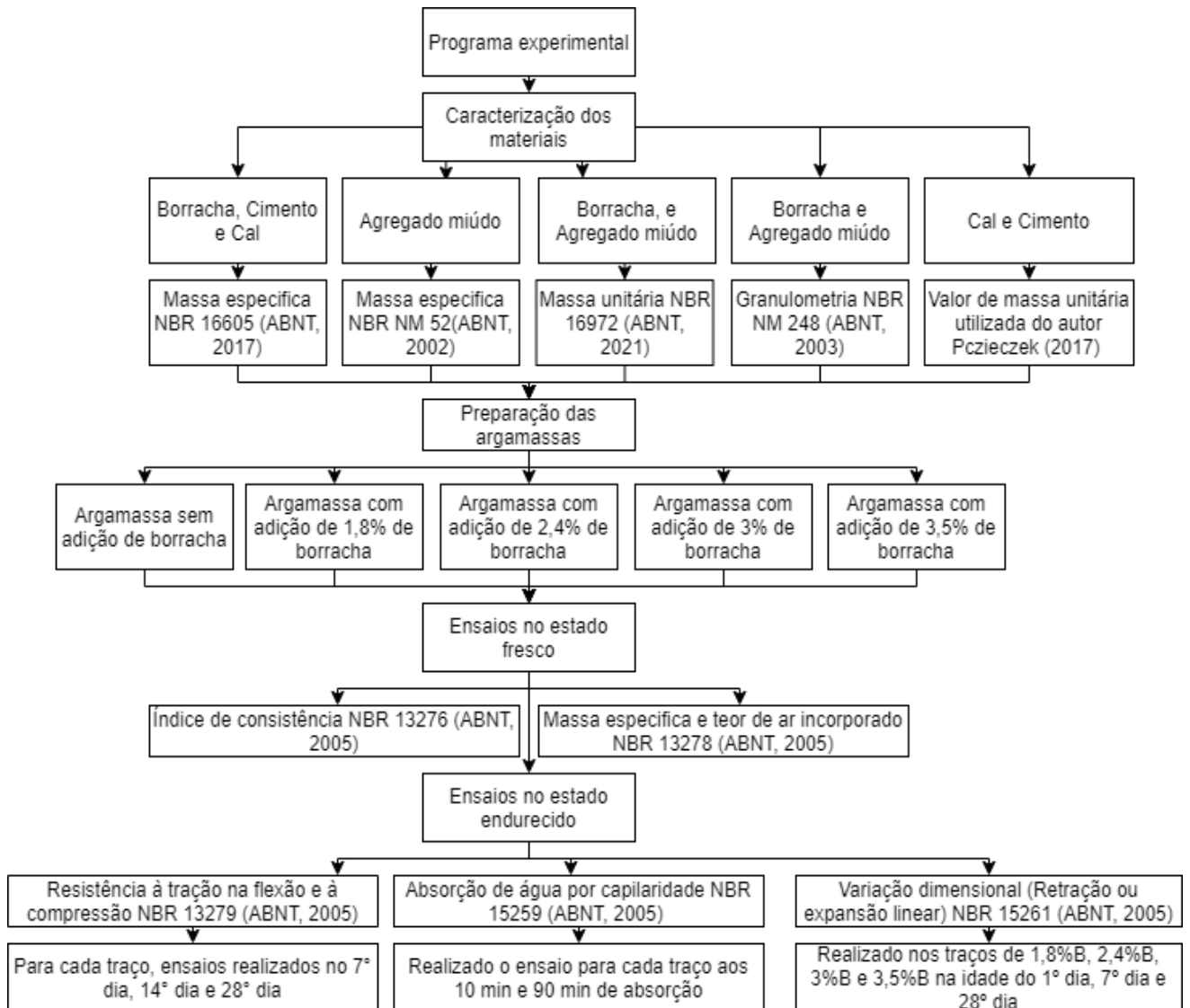
Tais revestimentos foram expostos a condições severas de clima, controlados em laboratório, e para acompanhar a movimentação do revestimento foram colocados nove elementos metálicos em cada corpo-de-prova, duas horas depois de sua moldagem, sendo: um no centro e os outros oito distribuídos radialmente na superfície da placa. E tais movimentações foram acompanhadas utilizando-se um retratômetro analógico, com precisão de 0,002 mm.

Além de acompanhar as movimentações, as fissurações foram detalhadas com o uso de uma lupa e com um fissurômetro, sendo quantificado através da soma das medidas de seus comprimentos, em milímetros, dividido pelo valor da área total da superfície do revestimento do corpo-de-prova, em metros quadrado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada na parte experimental desta pesquisa compreende as etapas conforme fluxograma da Figura 12. Na apresentação de cada etapa, as atividades executadas são descritas de forma mais detalhada neste capítulo.

Figura 12 Programa Experimental



Fonte: Autor, 2021.

Os ensaios foram executados no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade de Caxias do Sul – UCS, no Campus Sede em Caxias do Sul. Os ensaios de resistência foram executados na LABTEC - Laboratório de Tecnologia Construtiva, campus 8 da UCS, Caxias do Sul

A argamassa de referência será produzida com cimento, cal e areia no traço 1:1:6 (em volume). As argamassas contendo borracha tiveram 1,8%, 2,4%, 3% e 3,5% de adição de borracha em relação a substituição em massa do agregado, o traço das argamassas foram de contribuição da pesquisa de (PCZIECZEK, 2017). Para as % da adição em borracha, foram realizados teores menores do que os autores encontrados para avaliarmos as diferenças que iremos encontrar.

Os ensaios realizados nas argamassas, tanto no estado fresco como no estado endurecido tiveram como finalidade investigar a redução de fissuração em revestimento de fachadas, foi investigado o comportamento mecânico das argamassas produzidas, bem como sua absorção por capilaridade e sua capacidade de absorver deformações pelo ensaio de variação dimensional (retração ou expansão linear).

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Segundo Baía e Sabbatini (2008) a argamassa dosada no canteiro é composta, normalmente, por cimento, cal, areia, aditivo ou adições e água. Cada um desses materiais apresenta características próprias que interferem nas propriedades da argamassa e do revestimento. Características que possam ser químicas, físicas e mecânicas.

3.1.1 Cimento

O Cimento CP IV-32 é muito utilizado na construção civil e por apresentar diversas possibilidades de aplicação.

O CP IV-32 é composto por pozolana, no qual a resistência que pode ser atingida aos 28 dias é de >32 MPa. Suas propriedades atendem desde estruturas de concreto até argamassas de revestimento e assentamento. Este tipo de cimento possui em sua composição de 15 a 50% de pozolana (ABCP, 2022).

Foram realizados ensaios com o objetivo da determinação do índice de finura e da massa específica. Ainda, algumas características físicas e mecânicas foram obtidas com o fornecedor do material. Assim, a Tabela 4 exhibe os métodos que foram seguidos para especificação das propriedades e a Tabela 5 apresenta seus resultados.

Tabela 4 Caracterização do cimento

Propriedade	Método
Índice de finura	Fabricante
Massa específica	NBR 16605 (ABNT, 2017)
Resistência à compressão	Fabricante

Fonte: Autor, 2022.

A massa específica encontrada de 3,2 g/cm³ para o cimento ficou próxima da indicada no boletim de ensaio do material obtido com o fornecedor, no caso de 2,8 a 3,00 g/cm³. Já para o valor de massa unitária foi usado o valor de 1,43 g/cm³ fornecidas pelo autor Pcziecsek (2017), mas esse valor de massa unitária foi mais atribuído para cálculo do traço em massa.

Tabela 5 Resultados da caracterização do cimento

Propriedade	Método
Índice de finura	<8%
Massa específica	3,2 g/cm ³
Resistência à compressão 28dias	>32 MPa

Fonte: Autor, 2022.

3.1.2 Cal hidratada

Para o presente trabalho foi utilizado cal hidratada do tipo CH-III, comumente usada na construção civil. A cal do tipo CH-III é constituída basicamente por uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003).

Para o presente trabalho foi realizado o ensaio de massa específica para a cal no que resultou em uma massa específica de 2,4 g/cm³ e a massa unitária foi de 0,75 g/cm³ valor retirado da dissertação do autor (PCZIECZEK, 2017).

3.1.3 Agregado miúdo natural

Foi utilizado areia lavada de rio (quartzo) como agregado miúdo, devido que é o mais comumente usados no reboco misto, propiciando um acabamento melhor depois do desempenho, para o presente trabalho a caracterização do material foi realizada por meio de ensaios como o de determinação granulométrica, de massa

unitária e massa específica através do frasco de Chapman. Com isso, a Tabela 6 apresenta os procedimentos seguidos em cada um dos ensaios.

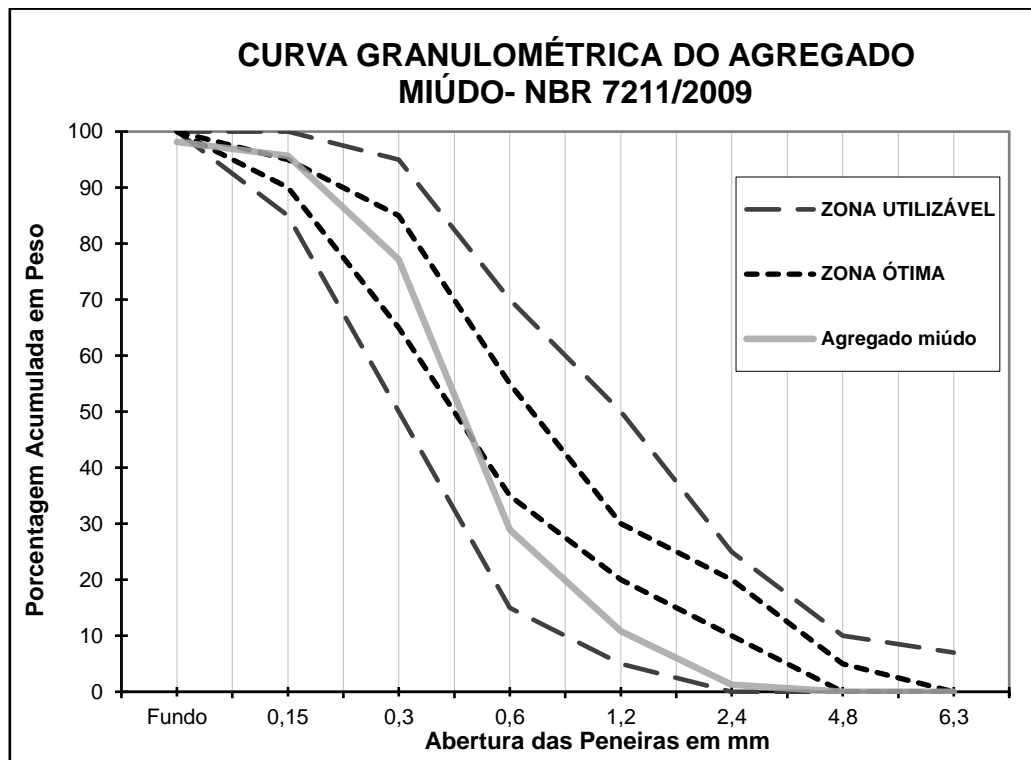
Tabela 6 Caracterização do agregado miúdo

Propriedade	Método
Distribuição granulométrica	
Dimensão máxima	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Módulo de finura	
Massa unitária	NBR 16972 (ABNT, 2021)
Massa específica	NBR NM 52 (ABNT, 2002)

Fonte: Autor, 2022.

Como resultado ao ensaio de determinação granulométrica do agregado foi obtida a curva ilustrada na Figura 13. Além disso, o gráfico apresenta os dados de zona ótima e zona utilizável indicados na NBR 7211 (ABNT, 2009). Como pode ser observado, a curva granulométrica do agregado miúdo está em sua maior parte dentro da zona utilizável. Ademais, a Tabela 7 expressa os percentuais retidos e acumulados em cada uma das peneiras no ensaio.

Figura 13 Curva granulométrica do agregado miúdo



Fonte: Autor, 2022.

Tabela 7 Determinação granulométrica do agregado miúdo

Determinação granulométrica do agregado miúdo natural		
Peneira (mm)	Retido %	Acumulado (%)
2,36	2	2
1,18	10	12
0,6	18	30
0,3	48	78
0,15	19	97
Fundo	3	100

Fonte: Autor, 2022.

Por fim, os resultados para o diâmetro máximo, módulo de finura, massa unitária e massa específica do agregado miúdo podem ser observados na Tabela 8.

Tabela 8 Caracterização do agregado miúdo

Agregado miúdo natural	
Caracterização	Resultado
Diâmetro máximo(mm)	2,36
Módulo de finura	2,21
Massa unitária (g/cm ³)	1,53
Massa específica (g/cm ³)	2,63

Fonte: Autor, 2022.

3.1.4 Borracha vulcanizada e composições com borracha

A borracha utilizada nesta pesquisa não passou por nenhum tipo de tratamento anterior à sua incorporação na argamassa. Esta opção foi feita para seguirmos o procedimento experimental no qual estaremos seguindo o executado por CANOVA, BERGAMASCO, NETO (2015). Para a caracterização do pó de borracha foram realizados os ensaios de massa unitária da NBR 16972 (ABNT, 2021), massa específica NBR 16605 (ABNT, 2017) e granulometria NBR NM 248 (ABNT, 2003). Logo na Tabela 9 encontraremos o diâmetro máximo encontrado, o módulo de finura a massa unitária e massa específica do agregado de borracha.

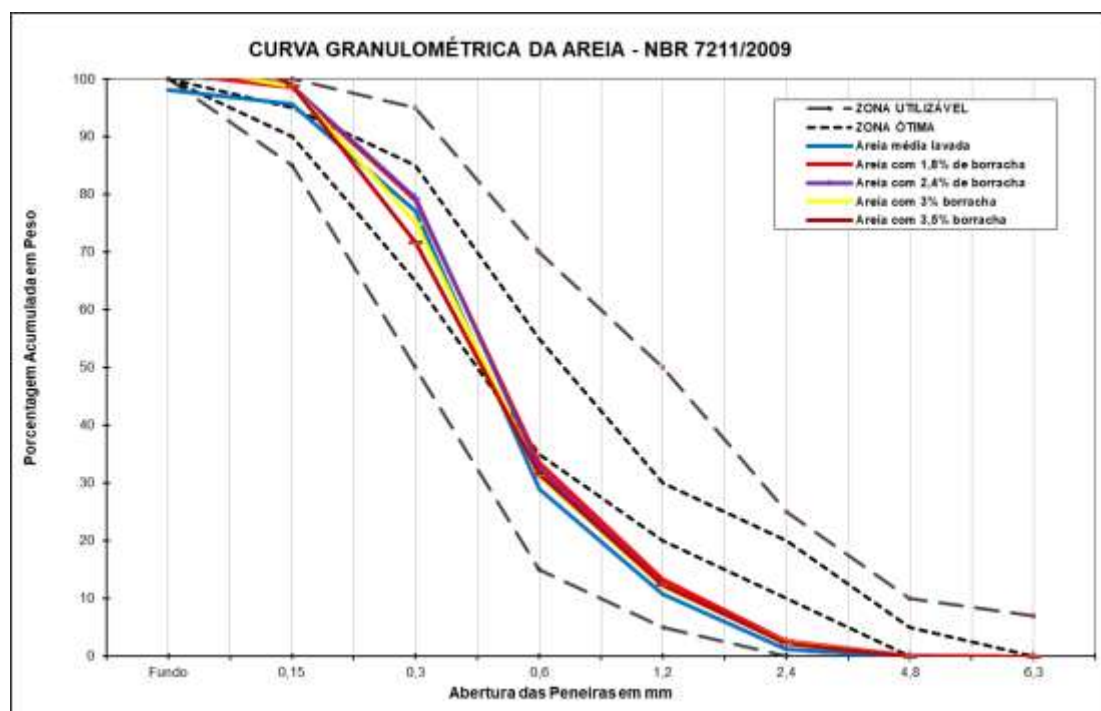
Tabela 9 Características físicas da borracha

Caracterização da borracha	
Caracterização	Resultado
Diâmetro máximo(mm)	1,18
Módulo de finura	2,71
Massa unitária (g/cm ³)	0,483
Massa específica (g/cm ³)	1,21

Fonte: Autor, 2022.

Na composição das argamassas utilizamos a substituição do agregado miúdo por agregado de borracha, e fizemos essas substituições em porcentagens de 1,8%, 2,4%, 3% e 3,5% para que possamos avaliar melhor os resultados encontrados. Logo na Figura 14 podemos demonstrar que a substituição da areia pelo agregado de borracha ajudou em melhorar a distribuição granulométrica, uma vez que o agregado da areia possuía retenções nas peneiras de 2,4 mm e 1,2 mm, ao substituímos pelo agregado de borracha podemos acomodar melhor os agregados mais finos da borracha entre os vazios dos agregados da areia.

Figura 14 Granulometria das composições com borracha



Forte: Autor, 2022.

3.2 PREPARAÇÃO DA ARGAMASSA

Para a argamassa de referência, foi utilizado o traço 1: 1: 6 (volume) com uma relação de A/C inicial de 1,4, na qual a relação foi alterada no ensaio de índice de consistência, dados fornecidos por (PCZIECZEK, 2017), tal argamassa foi denominada de REF. para futuros ensaios. Com base na massa unitária materiais constituintes, este traço em volume foi transformado em massa, dando um traço de 1: 0,63: 6,33.

Para preparação da argamassa referência o índice de consistência foi determinado pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Primeiramente, é colocado no misturador mecânico a cal, a água e a areia em quantidades necessárias para os futuros ensaios e seguindo o traço citado anteriormente, e misturado por 4 minutos em velocidade baixa. Em seguida, acrescenta-se o cimento e misturado por mais 4 minutos. Sua relação A/C dada inicialmente, foi alterada para se obter um índice de consistência de 260 ± 10 , dados obtidos da pesquisa de (PCZIECZEK, 2017).

Nas argamassas contendo pó de borracha, as porcentagens de 1,8%, 2,4%, 3% e 3,5%, que foram adicionadas em proporção à massa de areia, e foram chamadas de 1,8%B, 2,4%B, 3%B e 3,5%B para as respectivas adições.

Para realização dos ensaios no estado endurecido, foram executados em moldes prismáticos 12 CP's de 40mm x 40mm x 160mm para os ensaios de tração na flexão, à compressão e para os ensaios de absorção por capilaridade, em cada um dos traços REF. ,1,8%B, 2,4%B, 3%B. e 3,5%B. para realizar os ensaios aos 7, 28 dias do tempo de cura.

Para realização do ensaio de retração ou expansão linear da argamassa, foram moldados no total 9 CP's prismáticos de 25 mm x 25 mm x 285 mm, que serviram para avaliação do ensaio ao 1º dia, 7º dia e ao 28º dia de cura, e no qual foram executados 3 CP's para cada um dos traços. A norma pede para realizar os ensaios ao 1º, 7º e ao 28º, mas não podemos deixar de analisar que ele já passa por um processo de cura de 48 horas nas formas, discriminado pela própria NBR 15261 (ABNT, 2005).

Para o quantitativo de quanto material será usada na confecção dos CP's, calculamos o quantitativo de cada material pela fórmula de consumo, e no final fizemos as substituições parciais de areia (em massa) pelo agregado de borracha também (em massa). A Tabela 10 abaixo, ficou discriminado o quantitativo de cada material.

Tabela 10 Quantitativo de cada material para realização dos ensaios

Traço	Cimento (Kg)	Cal (Kg)	Borracha (Kg)	Areia (Kg)
REF.	1,11	0,7	0	7,03
1,8%B	1,11	0,7	0,124	6,90
2,4%B	1,11	0,7	0,17	6,86
3%B	1,11	0,7	0,21	6,82
3,5%B	1,11	0,7	0,25	6,78

Fonte: Autor, 2022.

3.3 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

A análise das argamassas no estado fresco foi realizada com base em algumas propriedades importantes, pelo motivo de possível interferência na qualidade das argamassas estudadas. Foi analisado o índice de consistência, a retenção de água, a massa específica da argamassa e o teor de ar incorporado.

3.3.1 Determinação do índice de consistência

Para este ensaio estaremos realizando conforme a NBR 13276 (ABNT, 2005), no qual seria o ensaio da mesa de consistência (Flow Table), usado para definir a consistência da argamassa no estado fresco. Este ensaio é designado para saber a fluidez da argamassa.

Sendo assim, logo após a preparação da argamassa, um molde tronco-cônico deve ser preenchido em três camadas com alturas aproximadas e foram aplicados em cada camada 15, 10 e 5 golpes, respectivamente, com o auxílio de um soquete, de modo que os golpes fiquem distribuídos uniformemente. Em seguida, será retirado o excesso com uma régua metálica com movimentos de vai e vem ao longo de toda a superfície do cone.

Depois de retirar o molde, a manivela da mesa do índice de consistência deve ser acionada por 30 vezes, de modo que a mesa caísse e subisse 30 vezes em 30 segundos de maneira uniforme. Após a última queda, deve ser realizada a medição do diâmetro em três pontos diferentes do espalhamento, como é demonstrado na Figura 15.

Figura 15 Medição do índice de consistência



Fonte: Autor, 2022.

3.3.2 Determinação da massa específica e do teor de ar incorporado

O ensaio realizado para determinar a massa específica da argamassa no estado fresco e o teor de ar incorporado segue a metodologia proposta pela NBR 13278 (ABNT, 2005).

A argamassa deve ser colocada em um béquer, logo adicionar porções de argamassa em três camadas aproximadamente iguais e, aplicar 20 golpes ao longo do perímetro em cada camada. Na primeira camada, os golpes não devem chegar ao fundo do recipiente e nas camadas seguintes os golpes chegaram até a camada inferior.

Em seguida, devem ser efetuadas três quedas do recipiente a uma altura aproximada de três centímetros e a superfície com o auxílio de uma espátula. Para este ensaio, não será analisado o vazio entre a argamassa e a parede do recipiente.

A massa específica da argamassa é determinada pela equação 5.

$$d = \frac{mc - mv}{Vr} * 1000 \quad (\text{Eq.5})$$

Onde, d é a densidade de massa da argamassa (kg/m³); mc é a massa do recipiente contendo a argamassa de ensaio (g); mv é a massa do recipiente vazio (g) e Vr é o volume do recipiente (cm³).

O teor de ar incorporado na argamassa é determinado pela equação 6, e será expresso em porcentagem.

$$A = 100 \left(1 - \frac{d}{dt} \right) \quad (\text{Eq.6})$$

Onde, d é o valor da massa específica da argamassa conforme equação 8 só que em g/cm^3 e dt é o valor da densidade de massa teórica da argamassa sem vazios em g/cm^3 .

3.4 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

As argamassas no estado endurecido foram avaliadas através de ensaios de resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial. Sucederam também os ensaios para a determinação da absorção de água por capilaridade. Para avaliação da redução na fissuração com a utilização do pó de borracha, foi realizado o ensaio de determinação da variação dimensional em argamassas.

3.4.1 Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

A resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas foi determinada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). Para cada traço de argamassa serão preparados 9 corpos de prova e ensaiados com 7, 14 e 28 dias de idade.

Para a determinação da resistência à tração na flexão o corpo de prova foi posicionado no dispositivo de carregamento de modo que, a distância dos apoios das extremidades ficasse em 25 mm; de tal maneira que a peça permanecera com 100 mm entre o centro dos dois apoios. Em seguida, deve ser aplicada no meio do vão uma carga de (50 ± 10) N/s até ocorrer à ruptura do corpo-de-prova.

Para a determinação da resistência à compressão das argamassas serão utilizadas as metades dos corpos de prova do ensaio da flexão. A carga que deverá ser aplicada em cada amostra é de (50 ± 10) N/s até ocorrer à ruptura dos corpos de prova. A resistência à tração na flexão será calculada segundo a equação 10:

$$Rf = \frac{1,5Ff * L}{40^3} \quad (\text{Eq.10})$$

Onde, Rf é a resistência à tração na flexão (MPa); Ff é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N) e L é a distância entre os suportes (mm). Logo a resistência à compressão será calculada segunda a equação 11:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (\text{Eq.11})$$

Onde R_c é a resistência à compressão (MPa); F_c é a carga máxima aplicada (N) e 1600 é a área da seção do corpo de prova considerada quadrada (40 x 40 mm).

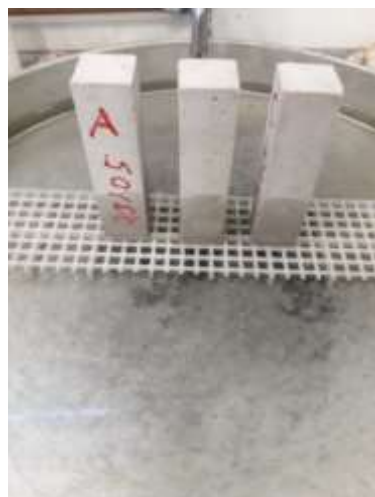
3.4.2 Determinação da absorção por capilaridade

Os resultados da absorção de água, o índice de vazios e a massa específica da argamassa no estado endurecido serão obtidos através da metodologia da NBR 9778 (ABNT, 2009).

Segundo a norma técnica, para a realização deste ensaio é necessário à utilização de, no mínimo, três amostras dos CP's de 40x40x160 mm para cada tipo de argamassa, no qual iremos usar amostras que obtiveram 28 dias de cura. O ensaio visa em marca 5 mm de altura em cada CP e o lixamento da superfície que ficara de contato com a água, para que não ocorra o impedimento da absorção por resquícios de outros materiais como o desmoldante das formas.

Para realização do ensaio primeiramente é marcado cada CP para que se possa dar o seu peso inicial em (g), logo isso, consiste em posicionar os três CP's sobre uma forma que facilite o contato da face do CP com água, utilizaremos uma forma com vários furos vazados para melhor contato, como podemos ver na Figura 16, devemos encher de água até a marcação dos 5mm feita no CP, logo após iremos realizar a pesagem aos 10 min e 90 min, não esquecendo de secar com um pano o excesso de água sobre a superfície do CP.

Figura 16 Ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: Autor, 2022.

A absorção por capilaridade é calculada por meio da equação 12:

$$A = \frac{mf - mi}{16} \quad (\text{Eq.12})$$

Onde, A é a absorção de água (g/cm²); mf é a massa da amostra final; mi é massa da amostra inicial, no qual será dividido pela área da base do CP de 4x4cm

3.4.3 Ensaio de variação dimensional (retração ou expansão linear)

Para a avaliação da variação dimensional nas argamassas, será executado o ensaio da NBR 15261 (ABNT, 2005), pelo qual avalia a retração ou expansão das argamassas estudadas. De início foram feitos 3 CP's prismáticos para cada um dos traços estudados e os moldes devem possuir dimensões de 25 mm x 25 mm x 285 mm, com comprimento entre os pinos internos de 250 mm.

A moldagem do corpo de prova deve ser feita em duas camadas, aplicando-se 25 golpes em cada camada, preocupando-se com os ângulos ao longo da superfície e arestas dos moldes e em torno dos pinos de medida, logo após a moldagem dos CP's, eles ainda devem ficar no molde ainda pelas 48 horas, protegidos da perda de umidade como demonstrado na Figura 17.

Figura 17 Vedação para evitar perda de umidade nas primeiras 48 horas.



Fonte: Autor, 2022.

Logo após a desforma, determinar a massa dos CP's e efetuar as leituras iniciais, registrando os valores obtidos. Logo após a primeira leitura feita aos 2 dias de cura, serão executadas leituras ao 1º dia, 7º dia e 28º dia depois da desforma.

Para avaliação dimensional deve ser calculada pela equação 15.

$$\varepsilon_i = \frac{L_i - L_o}{0,25} \quad (\text{Eq.15})$$

Onde, ε_i é a medida da variação dimensional em (mm/m), L_i é a leitura efetuada na idade final em (mm), L_o é a leitura efetuada após a desforma em (mm). Após deve se calcular a variação de massa que é expressada pela equação 16.

$$\Delta m_i = \frac{m_i - m_o}{m_o} * 100 \quad (\text{Eq.16})$$

Onde, Δm_i é a variação de massa em (%), m_i é a massa na idade final em (g), m_o é a massa após a desforma do CP em (g).

Para apresentação dos resultados deve se calcular uma variação dimensional média e a variação de massa média de no mínimo três CP's.

Apresentar o desvio absoluto máximo das médias de variação dimensional, calculado pela diferença entre a variação média e a variação individual que mais se afasta desta média, e esse desvio absoluto não pode passar de 0,20 mm/m.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo estarão apresentados os resultados dos ensaios realizados para caracterização das propriedades no estado fresco e no estado endurecido, bem como para o ensaio de variação dimensional. Também, foram realizadas as análises e discussões acerca dos valores obtidos.

4.1 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Para as argamassas ainda no estado fresco estaremos analisando os resultados encontrados na densidade de massa para cada argamassa, bem como teor de ar incorporado e seu índice de consistência.

4.1.1 Índice de consistência

Os índices de consistência das argamassas foram determinados pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Para este trabalho foi adotado como parâmetro um índice de 260 ± 10 mm para a argamassa de referência e alterado a relação água/cimento para as demais argamassas (com pó de borracha de pneu). A Tabela 11 apresenta os resultados desse ensaio para as misturas investigadas.

Tabela 11 Índice de consistência

Argamassa	Relação água/Aglomerante (massa)	Índice de consistência (mm)
Ref.	0,94	270
1,8%	0,8	260
2,4%	0,72	258
3%B	0,7	254
3,5%B	0,69	250

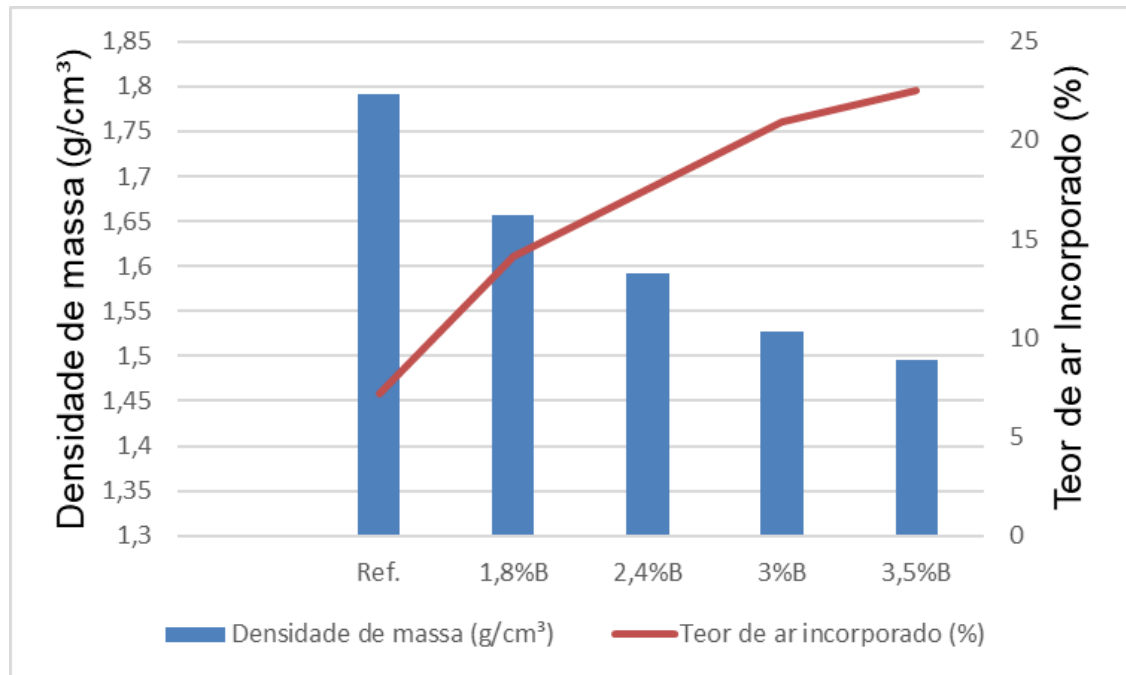
Fonte: Autor, 2022.

A Tabela 11 mostra que possuímos uma dependência muito menor de água nas argamassas que possuem adições do agregado de borracha, devido ao fato de que apresentam uma melhor trabalhabilidade provavelmente pela incorporação de ar dado pela incorporação da borracha a argamassa. Ao inserirmos o resíduo de borracha possuímos uma melhor conformação com a trabalhabilidade da argamassa (MENEQUINI, 2003).

4.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Para análise e melhor compreensão dos dados obtidos nos ensaios de densidade de massa e teor de ar incorporado, os resultados foram expostos na forma de gráfico, demonstrado na Figura 18.

Figura 18 Gráfico de Densidade de massa e Teor de ar incorporado das argamassas



Fonte: Autor, 2022.

Observa-se na Figura 18, um decréscimo da densidade de massa e um acréscimo do teor de ar incorporado com o aumento da porcentagem de pó de borracha de pneu nas misturas. Os resultados obtidos na Figura 18 colaboram com os estudos de Canova, Bergamasco e Neto (2015), Massola et al. (2013) e Pinto e Fioriti (2013).

A relação inversamente proporcional entre a densidade de massa e o teor de ar incorporado, pode ser explicada pelo fato de que, quanto menos densa a argamassa se encontra, maior a tendência de incorporar vazios a argamassa, com isso, aumentar o teor de ar incorporado. Também podemos verificar que o decréscimo na densidade de massa do conjunto pode ser justificado em função do pó de borracha de pneu possuir densidade menor que a areia

Os resultados apresentados na Figura 18 levam a acreditar que a incorporação de pó de borracha de pneu nas misturas, contribui para a produção de argamassas

mais leves, e conseqüentemente, para um melhor manuseio, característica ligada a trabalhabilidade.

4.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Para análise das argamassas no estado endurecido, iremos avaliar a resistência à tração na flexão e a compressão, a absorção por capilaridade e a variação de dimensional atribuída quando adicionamos a borracha em nossos compósitos cimentícios.

4.2.1 Resistência à tração na flexão

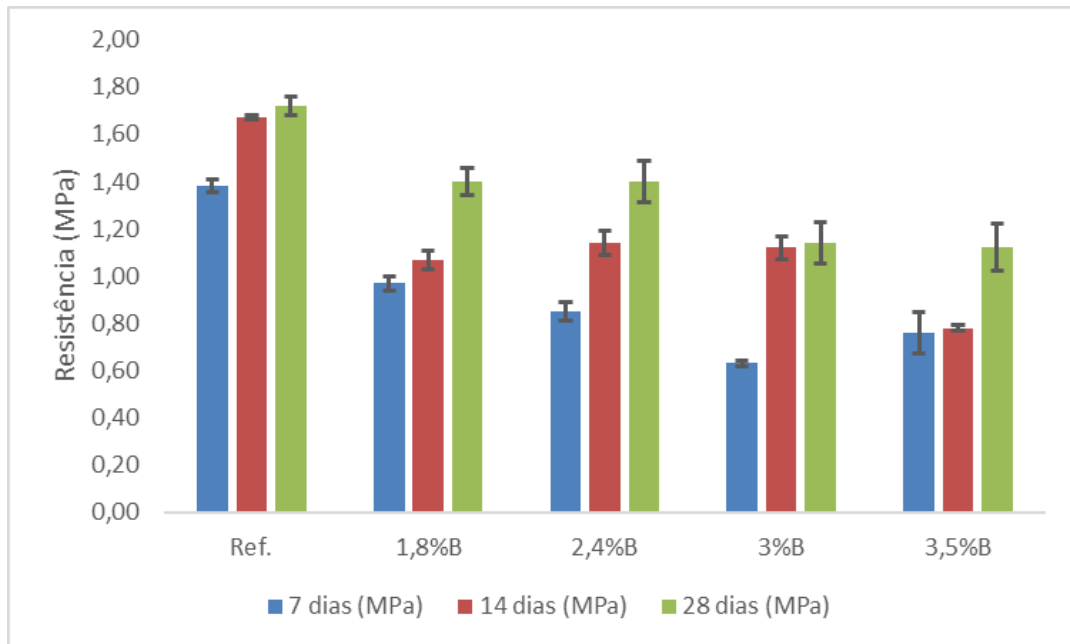
Os dados foram coletados aos 7, 14 e 28 dias, idades exigidas pela NBR 13279 (ABNT, 2005). Na Tabela 12 podemos encontrar todas as médias calculadas dos valores obtidos em cada um dos traços. Para melhor análise dos resultados iremos discutir os resultados em cima da Figura 19.

Tabela 12 Resistência à tração na flexão

Argamassas	Média das Resistência à tração na flexão nas idades					
	7 dias (MPa)	DP	14 dias (MPa)	DP	28 dias (MPa)	DP
Ref.	1,38	0,03	1,67	0,01	1,72	0,04
1,8%B	0,97	0,03	1,07	0,04	1,4	0,06
2,4%B	0,85	0,04	1,14	0,05	1,4	0,09
3%B	0,63	0,01	1,12	0,05	1,14	0,09
3,5%B	0,76	0,09	0,78	0,01	1,12	0,1

Fonte: Autor, 2022

Figura 19 Gráfico de resistência à tração na flexão



Fonte: Autor, 2022.

Na Figura 19 mostra os resultados médios obtidos, é possível observar uma redução nas resistências a tração na flexão. Com base na propriedade da borracha (de apresentar baixa resistência mecânica), era esperado que a resistência à tração das misturas teria um comportamento de queda com o aumento do resíduo nos traços, uma vez que seu módulo de elasticidade estático diminua com o acréscimo da borracha e sabendo que esses valores de módulo de elasticidade e resistência à tração são opostos (CANOVA, BERGAMASCO E NETO, 2015), logo já era de esperar essa redução e com isso um aumento de deformação das argamassas.

Pczieczek (2017) apresentou as mesmas características em seus estudos, obtendo um acréscimo de resistência à tração na flexão da porcentagem de 5% para 10% de substituição em massa de areia natural por pó de borracha na argamassa. Esse comportamento da Figura 19 é abordado pelo estudo de Benazzouk et. al. (2003), o autor analisa o comportamento de compósitos com adição de borracha, obtendo como resultados de resistência à tração nas porcentagens de 15% a 20% de adição de borracha. Podemos avaliar comportamento deriva da capacidade da borracha em absorver parte da energia que chega no entorno de suas partículas através de microfissuras, retardando o retorno da carga para a matriz de cimento. Concluindo, o acréscimo de borracha à argamassa eleva a energia necessária para a fratura total, agregando assim uma melhor deformabilidade a argamassa.

Para a propriedade de resistência a tração na flexão, todas as argamassas com adição de borracha da Figura 19 se classificaram como classe R1 (inferior a 1,5 MPa) conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005). Já para a argamassa de referência podemos classifica-la como R2 variando sua resistência de 1,5 a 2,0 MPa.

4.2.2 Resistência à compressão axial

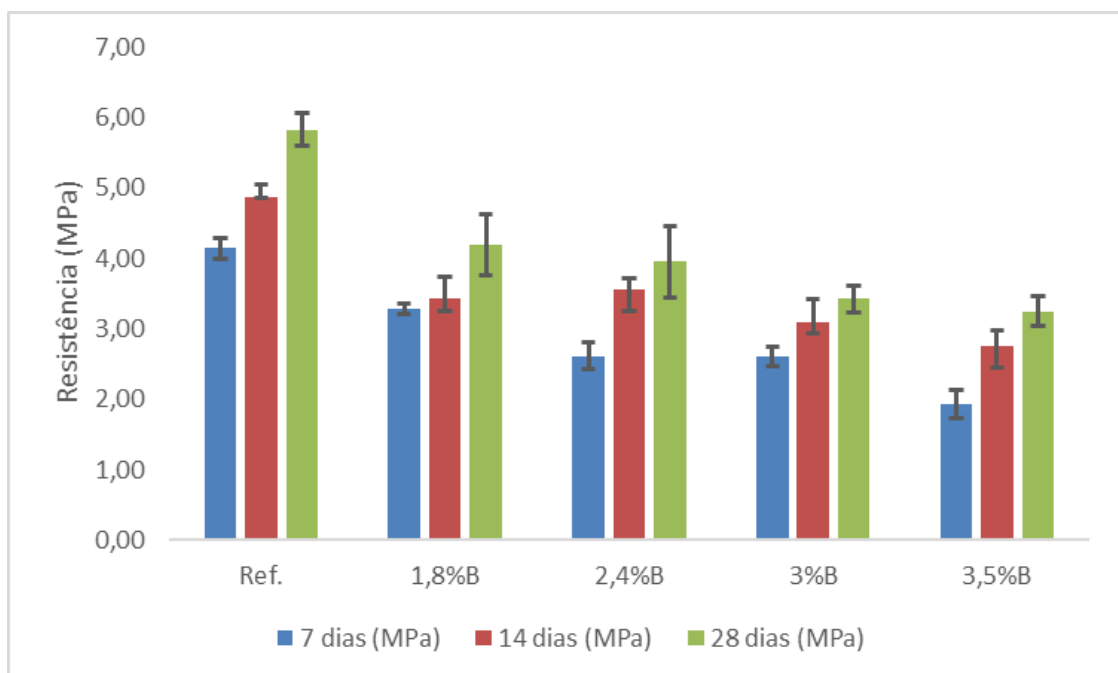
Os dados foram coletados aos 7, 14 e 28 dias, idades exigidas pela NBR 13279 (ABNT, 2005). Na Tabela 13 podemos encontrar todas as médias calculadas dos valores obtidos em cada um dos traços. Para melhor análise dos resultados iremos discutir os resultados em cima da Figura 20.

Tabela 13 Resistência à compressão axial

Argamassas	Média das Resistências à compressão nas idades					
	7 dias (MPa)	DP	14 dias (MPa)	DP	28 dias (MPa)	DP
Ref.	4,14	0,14	4,86	0,19	5,83	0,24
1,8%B	3,28	0,08	3,44	0,29	4,19	0,43
2,4%B	2,61	0,19	3,55	0,17	3,95	0,51
3%B	2,6	0,14	3,1	0,31	3,42	0,20
3,5%B	1,93	0,2	2,75	0,23	3,25	0,22

Fonte: Autor, 2022.

Figura 20 Gráfico de resistência à compressão axial



Fonte: Autor, 2022.

Observa-se uma relação inversamente proporcional entre o aumento de teor de substituição de areia natural por pó de borracha de pneu nas argamassas e a resistência a compressão axial, como observado também nas pesquisas de Canova, Bergamasco e Neto (2005). Segundo os autores, esse comportamento da argamassa está ligado as propriedades do agregado integrado (pó de borracha de pneu) que se apresenta como um material altamente elástico e com baixas resistências mecânicas e massa específica.

A borracha, sendo um elastômero, é um material altamente elástico. Quando aplicada pequenas cargas sobre as argamassas com incorporação de pó de borracha, seus componentes se deformam de modo elevado, gerando tensões internas. O acréscimo de tensões ocasiona microfissuras que agilizam a ruptura dos moldes de argamassa, explicando assim, a queda gradativa da resistência à compressão axial com o aumento de teor de borracha na mistura.

4.2.3 Absorção de água por capilaridade

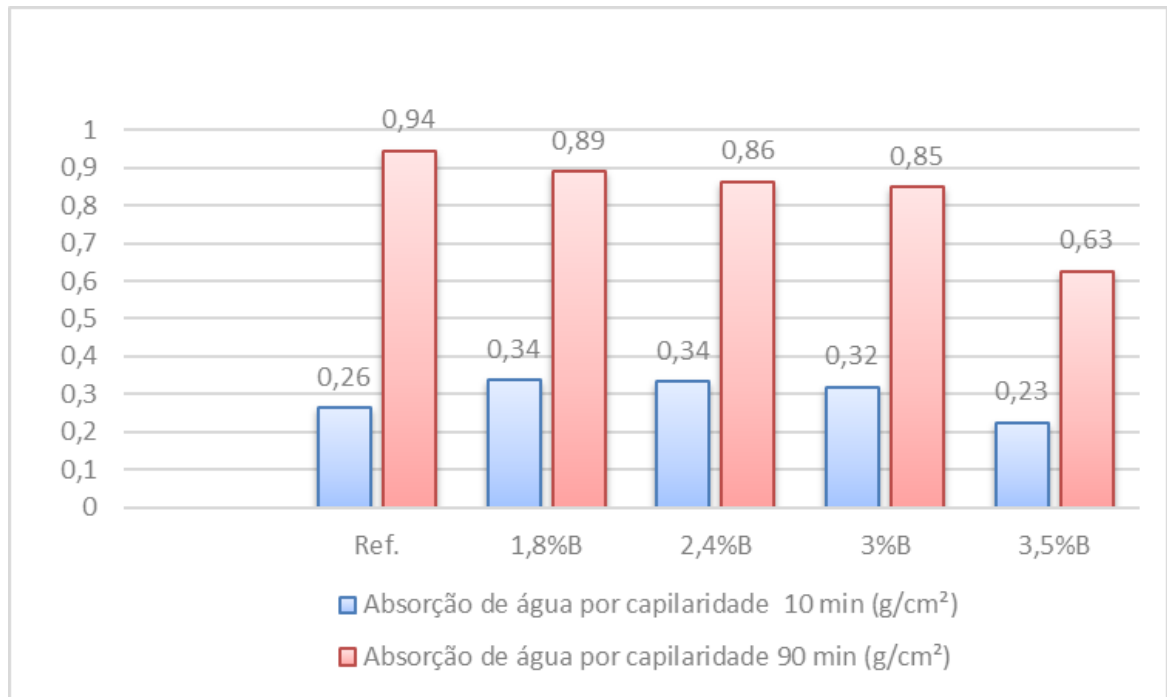
O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a NBR 15259 (ABNT, 2005), na idade de 28 dias. Conforme recomendações normativas foram efetuadas duas leituras, uma aos 10 minutos iniciais, e a outra após os 90 minutos de ensaio. Na Tabela 14 são apresentados os dados de absorção por capilaridade e o coeficiente de capilaridade dos traços investigados, e para melhor entendimento e estudo demonstramos a média dessas absorções na Figura 21.

Tabela 14 Absorção de água por capilaridade e Coeficiente de capilaridade

Argamassas	Absorção de água por capilaridade 10 min (g/cm ²)	Absorção de água por capilaridade 90 min (g/cm ²)	Coeficiente de capilaridade(g/dm ² .min ^{1/2})
Ref.	0,26	0,94	11,33
1,8%B	0,34	0,89	10,92
2,4%B	0,34	0,86	10,38
3%B	0,32	0,85	9,18
3,5%B	0,23	0,63	8,77

Fonte: Autor, 2022.

Figura 21 Gráfico de absorção de água por capilaridade



Fonte: Autor, 2022.

É possível observar, através das Tabelas 14 e na Figura 21 que a absorção por capilaridade e o coeficiente de capilaridade são diretamente proporcionais entre si e inversamente proporcionais a porcentagem de substituição de areia natural por pó de borracha de pneu. O aumento na borracha resulta numa maior quantidade de ar nos compósitos, reduzindo o peso. Porém em percentuais de quantidade absorvida em relação ao peso, os compósitos com borracha tendem a reduzir essa absorção, isso por que no acréscimo de borracha temos um aumento da porosidade o que melhora a circulação de ar, e a borracha dando a tendencia de dificultar a passagem de água (FERREIRA, 2009).

As explicações para os resultados podem estar ligadas ao aumento do teor de ar no compósito com a inserção do material não-convencional e com o fato da borracha praticamente não absorver água como visto por (FERREIRA, 2009), tornando assim o caminho de fluxo de água pelos capilares mais dificultada, mesmo que sua incorporação cause insatisfatória compactação na massa e consequentemente maior porosidade. Para isso a existência de poros interligados ou não, além da diferença de diâmetros, pode influenciar na permeabilidade, isso significa que ela será alta se também houver grande quantidade de poros na matriz, e que estes estejam interligados contribuindo para o fluxo, característica chamada de porosidade aberta (NAKAKURA E CINCOTTO, 2004). Se a porosidade é descontínua,

mesmo sendo elevada, ela não apresentará um alto nível de absorção de capilaridade, denominada porosidade fechada.

Logo, considerando os resultados obtidos, pode-se criar como hipótese que o aumento da porcentagem de borracha ocasionou maior quantidade de poros e que estes não proporcionaram um fluxo de capilaridade tão contínua quanto para o corpo de prova referência ocasionando aumento do raio de capilaridade pela ação hidrofóbica do material emborrachado (SAKAMOTO, 2020).

4.3 VARIAÇÃO DIMENSIONAL (RETRAÇÃO OU EXPANSÃO LINEAR)

Os resultados que foram encontrados tanto para a variação dimensional e a perda de massa foram demonstrados nas Tabelas 15 e 17 respectivamente, mas para melhor análise iremos adicionar as Figuras 22 e 23 das médias obtidas nos resultados.

Tabela 15 Média da variação dimensional e desvio absoluto

Média da variação (mm/m) e Desvio absoluto máximo				
Traços	7º dia	DA Máx	28º dia	DA Máx
Ref.	-0,93	-0,12	-1,23	-0,10
1,8%B	-0,30	-0,02	-0,53	-0,19
2,4%B	-0,09	-0,04	-0,44	-0,14
3%B	-0,21	-0,06	-0,38	-0,07
3,5%B	-0,09	-0,07	-0,26	-0,01

Fonte: Autor, 2022.

Foram realizadas variações nas idades do 7º dia e do 28º dia para todas os traços avaliados. E para o cálculo do desvio absoluto máximo em alguns traços as médias foram recalculadas para se obter o valor de no máximo 0,20 mm/m como estabelecido pela norma NBR 15261 (ABNT, 2005), logo na Tabela 16 os valores que estiverem em **negrito** foram retirados para o cálculo da média da variação.

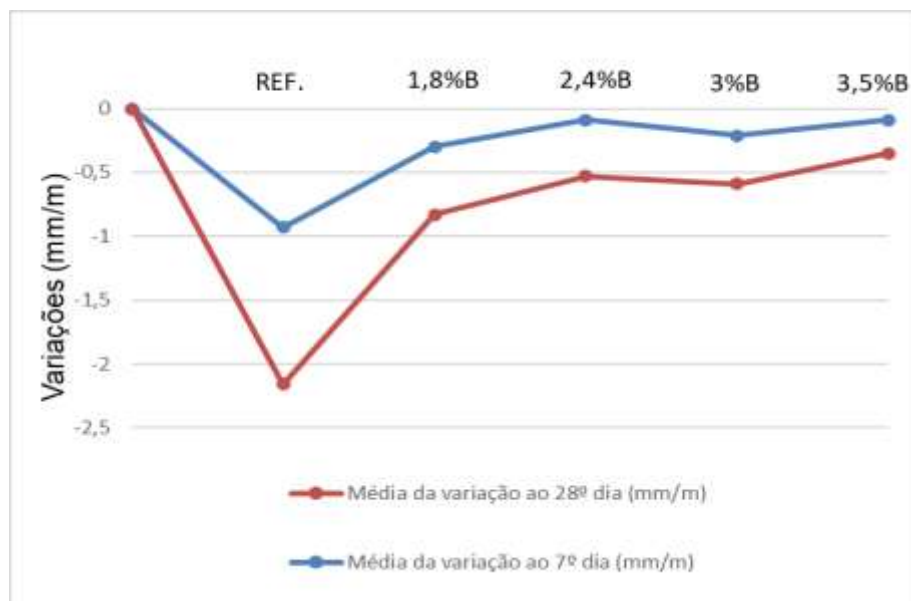
Tabela 16 Dados obtidos de variação dimensional dos três corpos-de-prova

Traços	a/agl	Medidas ao 1º dia (mm)	Medidas ao 7º dia (mm)	Medidas ao 28º dia (mm)	Variação ao 7º dia	Variação ao 28º dia
Ref.	0,94	-1,357	-1,62	-1,798	-1,05	-1,76
		-1,19	-1,423	-1,473	-0,93	-1,13
		-0,718	-0,92	-1,051	-0,81	-1,33
1,8%B	0,8	-1,286	-1,168	-1,373	0,47*	-0,35
		-2,02	-2,1	-2,199	-0,32	-0,72
		-0,984	-1,055	-1,211	-0,28	-0,91
2,4%B	0,72	-1,085	-1,044	-1,094	0,16*	-0,04
		-0,443	-0,456	-0,519	-0,05	-0,30
		-1,138	-1,168	-1,28	-0,12	-0,57
3%B	0,7	-0,82	-0,882	-0,91	-0,25	-0,36
		-0,715	-0,753	-0,796	-0,15	-0,32
		-0,018	-0,072	-0,13	-0,22	-0,45
3,5%B	0,69	-0,452	-0,589	-0,618	-0,55	-0,66
		-0,443	-0,481	-0,507	-0,15	-0,26
		-0,539	-0,545	-0,606	-0,02	-0,27

Autor, 2022.

Logo na Figura 22 podemos ver que o acréscimo de borracha tende a diminuir as variações dimensionais na retração, fato principalmente ligado ao teor de ar incorporado que facilita a passagem da umidade no processo de retração por secagem, impedindo assim que meniscos capilares se formem entre as estruturas de C-S-H, assim reduzindo as tensões internas.

Figura 22 Gráfico de média da variação dimensional



Fonte: Autor, 2022.

A retração por secagem acontece depois do fim de pega do cimento e ocorre devido à redução dimensional causada pela variação da tensão capilar da pressão de desligamento e da variação da tensão superficial com a evaporação da água do poro da mistura cimentícia para o ambiente (MELO NETO, 2008). Pata tanto o trabalho avalia a retração por secagem em conjunto com a perda de massa por evaporação da água.

Podemos notar que as variações que ocorrem ao 7º dia é muito maior do que ocorre ao 28º dia, notamos isso se subtrairmos os resultados encontrados do 28º dia para o 7º dia, notando que com a exposição brusca das amostras ao ambiente após a desmoldagem, a água presente nos poros esteve sujeita às pressões capilares, induzindo retrações elevadas (SILVA, 2011).

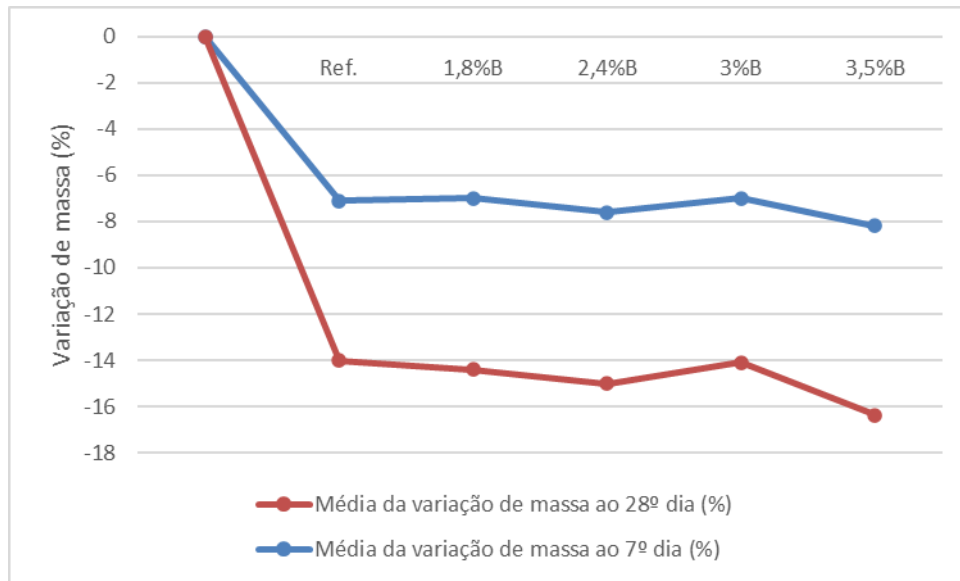
Ocorreu uma redução na retração por secagem com o aumento do teor de borracha nos traços das argamassas, isso pode estar ligado a diversos fatores, como o aumento da quantidade de poros nas argamassas no qual tende a reduzir a tensão capilar, como bem foi visto pelos autores citados nesta pesquisa que falam sobre a retração por secagem. E como é avaliado por (SILVA, 2011) que a incorporação de ar apresenta uma redução na retração por secagem.

Tabela 17 Dados obtidos da variação de massa dos três corpos-de-prova

Traços	a/agl	Massa ao 1º dia (g)	Massa ao 7º dia (g)	Massa ao 28º dia (g)	Variação ao 7º dia (%)	Variação ao 28º dia (%)
Ref.	0,94	378,28	350,71	351,51	-7,29	-7,08
		389,93	363,46	363,76	-6,79	-6,71
		375,4	348,69	349,16	-7,12	-6,99
1,8%B.	0,8	369,88	343,94	342,8	-7,01	-7,32
		373,82	347,57	345,7	-7,02	-7,52
		377,95	352	350,6	-6,87	-7,24
2,4%B.	0,72	376,85	348,72	349,52	-7,46	-7,25
		372,17	343,54	344,53	-7,69	-7,43
		380,7	351,24	352,13	-7,74	-7,50
3%B	0,7	362,07	336,39	335,64	-7,09	-7,30
		371,8	345,09	344,65	-7,18	-7,30
		369,17	343,85	344,5	-6,86	-6,68
3,5%B	0,69	367,49	337	337,8	-8,30	-8,08
		369,72	339,12	339,1	-8,28	-8,28
		358,15	329,19	328,95	-8,09	-8,15

Fonte: Autor, 2022.

Figura 23 Gráfico de média da variação de massa



Fonte: Autor, 2022.

O cálculo para desvio padrão, bem como o de desvio absoluto máximo não é de exigência da norma para a variação de massa. Podemos notar na tabela 17 a perda de massa por evaporação da água foi acentuada nos primeiros dias após a desmoldagem das amostras devido à grande quantidade de água livre no interior dos poros e dos capilares. Com o decorrer da hidratação do cimento e a consolidação da porosidade das amostras, iniciou-se a redução da perda de massa até a estabilização (SILVA, 2011).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A borracha, por ser um material altamente elástico, com baixas resistências mecânicas e baixa massa específica, promove modificações nas propriedades estudadas proporcionais à sua incorporação nas misturas. A utilização de pó de borracha de pneu como substituição parcial, em volume, do agregado miúdo para argamassas de revestimento, influenciou diretamente na redução da massa específica da argamassa, tornando a mistura mais leve e trabalhável. Em seu estado fresco, observou-se o aumento da incorporação de ar conforme acréscimo de borracha, visto que uma argamassa mais leve, menos densa, acarreta em maior teor de ar incorporado.

Quanto ao índice de consistência, a variação do teor de borracha nas misturas, acarretou mudanças significativas, uma vez que ao acrescentarmos maiores teores de borracha nossa relação de a/c tende a diminuir e tende a manter o nosso índice de consistência entre os (260 ± 10) mm). Dando uma identificação do pó de borracha como um lubrificador dos componentes da argamassa e não como um fino que aumenta a exigência de água para a mistura, estando ligado ao fato de que o aumento da borracha acarreta um aumento da porosidade dando consequência maior circulação de ar, dificultando a ascensão capilar da água.

As argamassas no estado endurecido apresentaram resultados esperados quanto a resistência à compressão axial e à tração na flexão. Foi observado uma tendência de redução dessa propriedade com o acréscimo do teor de borracha nas misturas. Esta redução pode estar ligada ao aumento no teor de ar incorporado no estado fresco e pelo fato dos resíduos apresentarem baixa massa específica.

Para os resultados na variação dimensional denotamos que o aumento do teor de borracha nas argamassas tende a uma redução na variação, fato ligado ao aumento do teor de ar incorporado, restringindo a formação de meniscos que são formados pela evaporação da água e formam tensões internas, por tanto a água que evapora passa pelos poros, reduzindo as tensões internas e por si a retração por secagem.

Posso dizer que não só a retração por secagem irá influenciar nas fissuras, mas como também a capacidade de deformação, na qual não foram realizados ensaios, mas como bem avaliado pelos autores pesquisados, a redução de fissuras está também atrelada ao modulo de deformação estático. Sendo que o modulo e as

variações dimensionais estão diretamente ligadas as características das argamassas com a borracha, tornando-a uma argamassa com maior concentração vazios, uma argamassa mais suscetível a absorver deformações, é pelo motivo que a borracha também por ser um material com a capacidade de absorver as tensões que são geradas internamente.

Com isso podemos dizer que a utilização da borracha nas argamassas tende a ajudar na retração por secagem, ajudando a diminuir as tensões geradas e diminuindo a ocorrência de fissuras.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar estudos na borracha com o tratamento superficial, atribuindo uma melhor ponte de aderência entre a matriz cimentícia e a borracha.
- Realizar estudos quanto à inflamabilidade e toxicidade nas composições das argamassas com borracha reciclada de pneus.
- Verificar os níveis de desempenho das argamassas contendo borracha e cinza volante quanto ao aumento das resistências mecânicas.
- Utilizar um aditivo plastificante nas argamassas com uso de resíduo, para se manter a trabalhabilidade sem o aumento da relação a/c.
- Realizar estudos em argamassas compostas com borracha, frente a retrações que tendem a ocorrer com mais de 63 dias.
- Avaliar se as argamassas com resíduos de borracha promovem uma alteração em função de características térmicas e acústicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCP: **Associação Brasileira de Cimento Portland**. Disponível em: <https://abcp.org.br/>. Acesso em: 20/04/2022.

AÏTCIN, P. - C. **The durability characteristics of high performance concrete: a review**. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 4-5, p. 409-420, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C-270: **Standard specification for mortar for unit masonry**. United States, 2007.

ANIP: **Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. Reciclagem: Programa de coleta e destinação**. Disponível em: <HTTPS://www.anip.org.br/releases/industria-nacional-de-pneumaticos-coletou-mais-de-80-mil-toneladas-de-pneus-inserviveis-no-estado-de-sao-paulo-em-2020/>. Acesso em: 28/09/2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13277: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13279: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13749: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15261: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retratação ou expansão linear)**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16605: **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16916: **Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16972: **Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7175: **Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211: **Agregado para concreto**. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9776: **Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco chapman - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. 2002.

BAÍA, L. L. M; SABBATINI, F. H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2008.

BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier; NAKAKURA, Elza Hissae; CINCOTTO, Maria Alba. **Ensaio de retração de argamassas nos estados fresco e endurecido: contribuição para a normalização brasileira**. Anais.. Lisboa: APFAC, 2005.

BENAZZOUK, A.; MEZREB, K.; DOYEN, G.; GOULLIEUX, A.; QUÉNEUDEC, M. Effect of rubber aggregates on the physico-mechanical behaviour of cement-rubber composites-influence of the alveolar texture of rubber aggregates. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 7, p. 711-720, 2003.

CARASEK, HELENA. Argamassas. In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil**. São Paulo: IBRACON, 2007, pg. 863-904.

CARASEK, HELENA. Argamassas. In. ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. Pg. 893-941.

CECCONELLO, V. **Avaliação de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados de concreto e cinza de casca de arroz, com ênfase na retração**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2013.

CINCOTTO, MARIA ALBA; **Argamassas de revestimento: características, propriedades, e métodos de ensaio** / Maria Alba Cincotto, Maria Angélica C. Silva, Helena Caresek Cascudo, São Paulo, Instituto de pesquisas tecnológicas(IPT), 1995.

CINCOTTO,M.A; **"Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações"**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini, 1988.

CINTRA, C. L. D.; PAIVA, A. E. M.; BALDO, J. B. **"Argamassas de revestimento para alvenaria contendo vermiculita expandida e agregados de borracha reciclada de pneus – propriedades relevantes"**. Cerâmica, v. 60, p. 69-76, 2014.

COVAES, VIVIAN HELENA, **Comparação de argamassa com fibras de borracha com argamassa convencional: características mecânicas da microestrutura**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, Limeira, SP, 2018.

ESPING, O. **Early age properties of self-compacting concrete - effects of fine aggregate and limestone filler**. Suécia, 2007, 204 p. Tese (Doutorado) – Chalmers University of Technology.

FERREIRA, BEATRIZ BERNARDES DIAS. **“Tipificação de patologias em revestimentos argamassados”**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG, Belo Horizonte, 2010.

FERREIRA, C. R. G. **Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de argamassa e resíduo de borracha**. Dissertação ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

FERREIRA, LEONARDO MACHADO. **Possíveis causas e soluções para fissuras em fachadas com revestimento argamassado em edifícios de formosa-go – estudo de caso**. Dissertação, Centro universitário de Brasília – UniCEUB. Brasília, 2014.

FIORITO, Antonio J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2009.

GANIRON JR, Tomas. **Pelletized cut rubber: an alternative coarse aggregate for concrete mixture**. International Journal of Advanced Science and Technology, Austrália, v. 64, p. 21-30, 2014.

GOMES, ADRIANA. **Estudo do comportamento de argamassas com resíduos de borracha**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Limeira, 2020. Acesso até a data 22/11/2021.

HAMMER, T. A. **Effect of silica fume on the plastic shrinkage and pore water pressure of high-strength concretes**. Materials and Structures, v. 34, n.5, p. 273-278, 2001.

J. A. CANOVA; R. BERGAMASCO; G. A. NETO; “**Pó de Borracha de pneus inservíveis em argamassa de revestimento**”; Revista eletrônica de Engenharia Civil, V10, N°3, p.41-45, 2015. Disponível em:

[HTTPS://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/32980](https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/32980). Acesso em: 28/09/2021

JENSEN, O. M.; HANSEN, P. F. **Autogenous deformation and RH change in perspective. Cement and Concrete Research**, v. 31, n. 12, p. 1859-1865, 2001.

LORDSLEEM JR., Alberto Casado. **Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MASSOLLA, DANIEL AUGUSTO OLIVEIRA ET AL. **Estudo do uso de resíduos de borracha proveniente da recauchutagem de pneus em argamassas de revestimento**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 24., 2012, Juiz de Fora. Anais eletrônicos... Juiz de Fora, UFJF, 2013. Disponível em: . Acesso em: 26 mai. 2022.

MELO NETO, A. A. **Estudo da influência de aditivos redutores e compensadores de retração em argamassas e pastas com cimento de escória**. São Paulo, 2008, 253 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MENEGUINI, EDUARDO CÉSAR ANTONELLI. **Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P.J.; **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2014, 782p.

MUSSE, D. S.; COELHO, V. A.; GONÇALVES, J. P.; SILVA, F. G. S. **Desempenho do revestimento de argamassas reforçadas com telas: estudo de fissuração e do comportamento mecânico**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 467-491, jul./set. 2020

NAKAKURA, E.H.; CINCOTTO, M.A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento**. (Boletim técnico) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997. 828p.

NIQUES, GEORG'S ; **“Efeito do tempo de maturação na microestrutura de uma cal virgem dolomítica”**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, (2003).

PCZIECZEK, ADRIANE. **“Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis”**. Dissertação de Mestrado, Universidade do estado de Santa Catarina-UDESC, 2017.

PEDRO, D. A. G.; VEIGA, M. do R.; BRITO, J. de. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. 4º Congresso Português de Argamassas e Etics, Coimbra, 2012.

PENÃ, M.R.G.; **“Estudo da fissuração associada à retração em argamassas para reparo em estruturas de concreto”**; Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, 2004.

PEREIRA, C.H.A.F.; **“Contribuição ao Estudo da Fissuração, da Retração e do Mecanismo de Descolamento do Revestimento à Base de Argamassa”**. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília – UnB, (2007).

PHILIPPSEN, CRISTIANE; **“Estudo comparativo de argamassas de revestimento com incorporação de resíduo de borracha de pneus inservíveis em comparação com argamassas com aditivo incorporador de ar ”**. Dissertação de Mestrado, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos 2020.

PINTO, NAYRA ALBERICI; FIORITI, CESAR FABIANO. **Análise de argamassas de revestimento produzidas com três diferentes granulometrias de borracha de pneus**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 10., 2013, Fortaleza.

RAFFOUL, S.; GARCIA, R.; PILAKOUTAS, K.; GUADAGNINI, M.; MEDINA, N.F.. **Optimisation of rubberised concrete with high rubber content: An experimental investigation**. *Construction and Building Materials*, v. 124, p.391– 404,

2016. Acesso em : <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.054> . Data de acesso: 15/10/2021

SAHEDE, RENATO F. **Avaliação de Sistemas de Recuperação de Fissuras em Alvenaria de Vedação**. Dissertação – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005.

SAKAMOTO, CAMILA AKEMI. **Argamassas mistas de revestimento com emprego de borracha de pneus: desempenho perante o comportamento à água**. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2020

SEGAT, G. TRAMONTINA. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS)**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SENTONE, DANIEL TOURINHO. **“Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa”**. Tese de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, F. G. S.; BAUER, E. **Avaliação da fissuração em argamassas**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 8., Curitiba, 2009. Anais [...] Curitiba, 2009.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. **Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia**. Revista Ambiente Construído, v. 8, n. 4, p. 21-35, 2008.

SILVA, NARCISO GOLÇALVES DA. **“Avaliação da retração e da fissuração em revestimento de argamassa na fase plástica”**. Tese de doutorado no programa de pós-graduação em engenharia civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Joinville, 2011.

TURKI, M.; BRETAGNE, E.; ROUIS, M.J.; QUÉNEUDEC, M. **Microstructure, physical and mechanical properties of mortar–rubber aggregates mixtures**. Construction and Building Materials, 23(7), p. 2715-2722, 2009.

UYGUNOĞLU, T.; TOPÇU, I.B. **The role of scrap rubber particles on the drying shrinkage and mechanical properties of self-consolidating mortars.** Construction and Building Materials 24(7), p. 1141-1150, 2010.

VOTORAN. Cimentos. <https://www.votorantimcimentos.com.br/produtos/cimentos-votoran/todas-as-obras/> Disponível em Acesso em: 04 ago. 2021.

WEISS, W. J. **Prediction of early-age shrinkage cracking in concrete.** Estados Unidos da América, 1999, 258 p. Tese (Doutorado) – Northwestern University