

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

TUANI MATHIAS BERNARDI

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
COM INCORPORAÇÃO DE PÓ DE BORRACHA DE PNEU**

Alegrete

2019

TUANI MATHIAS BERNARDI

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
COM INCORPORAÇÃO DE PÓ DE BORRACHA DE PNEU**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Simone Dornelles Venquiaruto

Coorientador: Aldo Leonel Temp

Alegrete

2019

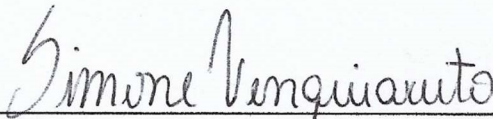
TUANI MATHIAS BERNARDI

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
COM INCORPORAÇÃO DE PÓ DE BORRACHA DE PNEU**

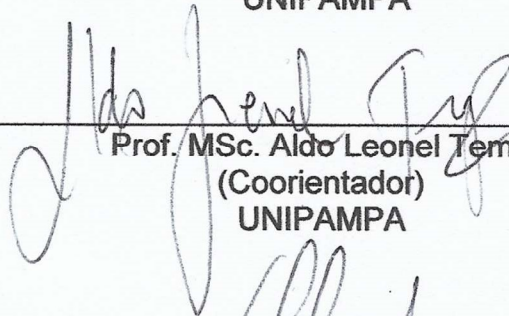
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 19, junho de 2019.

Banca examinadora:



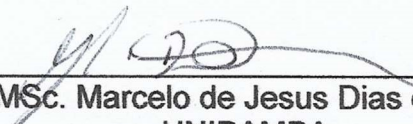
Prof. DSc. Simone Dornelles Venquiaruto
(Orientador)
UNIPAMPA



Prof. MSc. Aldo Leonel Temp
(Coorientador)
UNIPAMPA



Prof. MSc. Fernanda Bianchi Pereira da Costa
UNIPAMPA



Prof. MSc. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira
UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha família, pelo apoio e presença ao longo da minha jornada. Ao meu noivo, pelo amor, compreensão e participação. E por fim, aos professores e técnicos que me acompanharam e tornaram essa pesquisa possível.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, que me deram muito mais que uma base educacional, deram amor, carinho, apoio, compreensão e muito mais que uma filha possa pedir.

Ao meu irmão, por estar sempre presente, me apoiando e acreditando em minha capacidade.

Aos meus amigos e colegas, que dividiram uma trajetória comigo, com altos e baixos, sucessos e fracassos. A eles eu digo que terá fim e deixará saudade.

Ao meu noivo, Rafael, por ser meu porto seguro e me mostrar que eu nunca estive sozinha nessa história. Agradeço por toda ajuda e carinho.

Agradeço aos meus orientadores, pela paciência, confiança e amizade. Sem eles nada seria possível.

Também agradeço aos técnicos do laboratório de Engenharia Civil pelo acompanhamento e preocupação na etapa experimental do meu trabalho.

“Bom mesmo é ir à luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem se atreve. A vida é muita para ser insignificante. ”.

Charles Chaplin

RESUMO

O estudo analisou a incorporação de diferentes percentuais de pó de borracha de pneu em matrizes cimentícias, trazendo o resíduo como um novo componente de argamassas de revestimento. Para a produção das argamassas foi utilizado um traço 1:4 (aglomerante:agregado miúdo) em volume com $a/c=1,73$. Os percentuais de substituição em volume do agregado miúdo por pó de borracha foram estabelecidos em 5%, 15% e 30%. Para avaliar o desempenho das argamassas foram realizadas análises de algumas propriedades no estado fresco (retenção de água, índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado) e no estado endurecido (resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial e absorção de água por capilaridade). A observação das argamassas no estado fresco, mostrou haver uma relação inversamente proporcional entre a porcentagem de pó de borracha e a densidade de massa das argamassas. Os dados do ensaio de retenção de água mostraram valores fora dos padrões normativos apenas para as misturas com porcentagem de substituição de 30%. No estado endurecido, os resultados apontaram que o acréscimo do pó de borracha nas misturas tende a desfavorecer as resistências mecânicas (resistências à compressão axial e à tração na flexão). Em contrapartida, o aumento do pó de borracha de pneu foi eficiente na redução da absorção de água das argamassas. Na idade de controle de 28 dias, os ensaios mostraram valores decrescentes de absorção com o aumento do percentual de borracha nas misturas. Por meio dos resultados obtidos, conclui-se que a introdução de pó de borracha de pneu em argamassas é viável para fins de revestimento na construção civil.

Palavras-Chave: Argamassa de revestimento, sustentável, borracha de pneu, resistência mecânica.

ABSTRACT

The study analyzed the incorporation of different percentages of rubber tire powder into cement matrices, bringing the residue as a new component of coating mortars. For the production of mortars was used a mix proportion of 1: 4 (binder: fine aggregate) in volume with $w / c = 1,73$. The percentages of substitution in volume of the fine aggregate per rubber powder were set at 5%, 15% and 30%. In order to evaluate the performance of the mortars, analyzes of some properties in the fresh state (water retention, consistency index, mass density and incorporated air content) and in the hardened state (tensile strength in flexion, resistance to axial compression and absorption of water by capillarity). On the other hand, the increase of tire rubber powder was efficient in reducing the water absorption of mortars. At the control age of 28 days, the tests showed decreasing values of absorption with the increase of the percentage of rubber in the mixtures. By means of the results obtained, it is concluded that the introduction of tire rubber powder into mortars is feasible for coating purposes in civil construction.

Key words: Coating mortar, sustainable, tire rubber, mechanical resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camadas do revestimento em argamassa.....	20
Figura 2 – Diferentes alternativas de revestimentos de paredes.....	21
Figura 3 – Fluxograma do programa experimental.....	35
Figura 4 – Areia do Rio Ibicuí.....	37
Figura 5 – Pó de borracha de pneu.....	38
Figura 6 – Processo de moldagem da argamassa.....	41
Figura 7 – EMIC DL 20000.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo de autores	34
Tabela 2 – Propriedades físico-químicas e mecânicas do cimento CPIV - 32	36
Tabela 3 – Traço unitário em volume	40
Tabela 4 – Densidade de massa (d) e teor de ar incorporado das argamassas (A)	42
Tabela 5 – Índice de consistência	43
Tabela 6 – Retenção de água	44
Tabela 7 – Absorção de água por capilaridade aos 10 minutos e aos 90 minutos..	48
Tabela 8 – Coeficiente de capilaridade	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural	37
Gráfico 2 – Curva granulométrica do pó de borracha.....	39
Gráfico 3 – Resistências de tração na flexão média	45
Gráfico 4 – Resistências médias de compressão axial	47
Gráfico 5 – Absorção de água e Coeficiente de capilaridade dos traços investigados	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANIP - Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos

C - Coeficiente de capilaridade

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP IV - Cimento Portland Pozolânico

CSTB - Centre Scientifique Et Technique Du Batiment

DP - Desvio Padrão

NBR - Norma Brasileira

NM - Norma Mercosur

PVA - Polímero de Acetato de Vinila

Ra - Retenção de água

Rc - Resistência à Compressão Axial

Rf - Resistência à Tração na Flexão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	15
1.1 Objetivos	16
1.1.1 Objetivo geral	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Argamassas e seus componentes	17
2.2 Funcionalidade das argamassas	17
2.3 Tipos de argamassas	18
2.3.1 Argamassa de assentamento	19
2.3.2 Argamassa de revestimento	19
2.4 Propriedades da argamassa no estado fresco	21
2.4.1 Retenção de água	21
2.4.2 Tabalhabilidade, Consistência e plasticidade	22
2.4.3 Densidade de massa	23
2.4.4 Adesão inicial	23
2.4.5 Retração	24
2.5 Propriedades da argamassa no estado endurecido	24
2.5.1 Aderência	24
2.5.2 Resistência mecânica	25
2.5.3 Capacidade de absorver deformações	25
2.5.4 Retração	26
2.5.5 Permeabilidade da água	26
2.6 Compósitos cimentícios com borracha de pneu	27
2.7 O pneu como material reciclado no Brasil	27
2.8 Materiais sintéticos em argamassas	29
2.9 Aplicações de resíduo de pneu reciclado	30
2.10 Matrizes cimentícias modificadas com borracha de pneu	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Materiais	36
3.1.1 Cimento Portland	36

3.1.2 Areia	36
3.1.3 Pó de borracha de Pneu	38
3.1.4 Cal Hidratada	40
3.2 Métodos.....	40
3.2.1 Preparação das argamassas	40
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	42
4.1 Propriedades das argamassas no estado fresco	42
4.1.1 Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	42
4.1.2 Índice de consistência	43
4.1.3 Retenção de água.....	44
4.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido.....	44
4.2.1 Resistência à tração na flexão	45
4.2.2 Resistência à compressão axial	46
4.2.3 Absorção de água por capilaridade.....	48
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
5.1 Sugestões para trabalhos futuros	51
REFERÊNCIAS.....	52
ANEXOS	57

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A Construção civil é um dos setores que mais contribuem para o desperdício de recursos naturais. De acordo com a ABRECON (2018) há estudos de que aproximadamente 50% dos recursos materiais extraídos da natureza estão relacionados com as atividades nesse setor, e 10% de toda a matéria prima entregue em obras são destinadas a entulho. Considerando as perdas em construções e o impacto ambiental gerado por seu destino inadequado, surgem alternativas para que se possa solucionar esse fatídico problema. Nesse intuito, busca-se minimizar os impactos causado pela construção civil, através da reciclagem de materiais inservíveis gerados não somente por esta como também por diversos outros setores.

Com base no que foi prescrito, os materiais de construção fornecem uma nova perspectiva para elementos considerados inservíveis, trazendo-os ao mercado e livrando o meio ambiente de desperdícios. Com isso, evita-se a contaminação de solos e águas subterrâneas, liberação de toxinas, o surgimento de doenças, desvalorização de áreas, comprometimento de sistemas de drenagem, entre outros. Por esse motivo são fundamentais estudos e pesquisas referentes a incorporação de materiais passíveis de reciclagem em matérias-primas de construção.

A introdução de materiais alternativos nas argamassas colabora para a tentativa de solucionar descartes inadequados de rejeitos industriais. Entretanto, vale salientar que, essas composições só se tornam viáveis para o emprego na construção civil caso forem atendidas as exigências físicas e mecânicas das normatizações vigentes.

Com referência as argamassas de revestimento e assentamento, Sousa (2010) afirma que as propriedades com maior influência sobre a sua qualidade são a trabalhabilidade, a retenção de água e a aderência. Logo, para aplicação e utilização de revestimentos argamassados com componentes alternativos é relevante levar em consideração essas três propriedades.

Embora atualmente existem diversos estudos sobre argamassas com materiais alternativos — Barroca (2013), Pereira e Santos (2010), Schmelfenig *et al.* (2017), Silveira *et al.* (2017) e outros — muitos deles são desenvolvidos por pesquisadores que acabam focando em propriedades específicas, ficando lacunas que precisam ser melhor exploradas para a validação desses produtos. Além disso, algumas pesquisas analisam a substituição parcial dos componentes em medidas que nem sempre são

as ideais. Por esses motivos, embora seja notável o crescimento de projetos nesse campo de tecnologias, há inúmeras dificuldades para a implementação desses novos materiais no mercado.

Diante desse contexto esse trabalho tem por objetivo analisar o comportamento de argamassas com a substituição parcial de agregado miúdo natural por pó de pneu de borracha - material proveniente da reciclagem de pneus inservíveis. Espera-se que, os resultados obtidos mostrem uma argamassa com menor densidade e mais leve do que a usual, característica que sujeta (segundo Cardoso, Callejas e Duarte (2016)) melhorias térmicas e acústicas para a sua aplicação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Estudar o comportamento de argamassas destinadas ao revestimento (no estado fresco e endurecido), fazendo a substituição de parte de seu agregado miúdo natural por pó de borracha de pneu reciclado.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar no estado fresco: a consistência, a densidade de massa, o teor de ar incorporado e a retenção de água das argamassas de referência e modificadas;
- Avaliar no estado endurecido o desempenho mecânico (resistência à compressão axial e resistência à tração na flexão) das argamassas de referência e modificadas;
- Avaliar argamassas de referência e modificadas através do ensaio de absorção de água por capilaridade, como um indicativo de durabilidade.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentado a revisão bibliográfica e os conceitos gerais usados como base de estudo para a compreensão da pesquisa a ser desenvolvida.

2.1 Argamassas e seus componentes

Segundo Petrucci (2003) argamassas são misturas, utilizadas na construção civil e são constituídas por água, agregado miúdo e um ou mais aglomerantes. Além dos componentes citados, a mistura ainda pode levar aditivos ou adições, que geram resultados que aumentam ou melhoram as propriedades apresentadas pela mistura com somente seus componentes essenciais.

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005) os agregados são materiais granulares inertes compostos por minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos. Agregado miúdo é aquele que após ser ensaiado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2001), com peneiras normatizadas pela NBR NM ISO 3310-1 (ABNT, 2010), tem como resultado grãos no intervalo entre uma peneira com abertura da malha de 4,75 mm e outra 150 µm. Os aglomerantes que constituem a argamassa são aglomerantes quimicamente ativos, classificados, conforme Petrucci (2003), como dois tipos: aglomerantes aéreos que geram argamassa de cal aérea e argamassa de gesso e os aglomerantes hidráulicos que geram argamassa de cal hidráulica e argamassa de cimento. Ademais, como dito anteriormente a argamassa é formada por um ou mais aglomerantes, assim quando unimos um aglomerante aéreo e um hidráulico formamos argamassas mistas, por exemplo, argamassa de cal aérea e cimento.

2.2 Funcionalidade das argamassas

As argamassas assim como todo e qualquer material usado em uma obra da construção civil tem funções a desempenhar, que somadas tornam a sua aplicação mais satisfatória possível. Petrucci (2003) enumera que as condições que uma argamassa deve trazer ao seu emprego são: resistência mecânica, compacidade, impermeabilidade, aderência, constância de volume e durabilidade.

Recena (2012) salienta que além de satisfazer suas condições de funcionalidade, todo material também deve agir adequadamente quando analisado no conjunto, ou seja, garantir o efeito elástico. É de suma importância que a argamassa acompanhe a movimentação do seu substrato para que não ocorram fenômenos de fendilhação.

Para que a argamassa seja aceitável em todas as suas qualificações é importante alguns cuidados na sua elaboração, na escolha de seus componentes e/ou na sua aplicação. ABCP (200-) citam a água potável, a baixa reatividade dos aglomerantes, a espessura da argamassa e a limpeza da superfície onde a mesma será aplicada, como alguns dos cuidados necessários para a obtenção de bons resultados na confecção e aplicação de argamassas de cimento Portland. Segundo os autores, a água potável é a mais indicada para a composição da argamassa a base de cimento Portland, não devendo ser contaminada ou possuir excesso de sais solúveis. Os aglomerantes devem apresentar baixa ou média reatividade para garantir a capacidade de deformação da argamassa. Com relação à aplicação, os autores recomendam que a espessura da argamassa não deve ser excessiva, para não ser passível de fissuração. Por fim, ressaltam a importância da limpeza da superfície de aplicação para melhorar a aderência entre a argamassa e o substrato.

2.3 Tipos de argamassas

A argamassa pode ser classificada por diferentes características, Recena (2012) a classifica quanto à forma de endurecimento, à natureza do aglomerante, à utilização, ao volume de pasta, à granulometria do agregado e à forma de produção.

Quanto à utilização, Recena (2012) subdivide a argamassa em cinco classificações: argamassas de revestimento, argamassa de assentamento, argamassa de fixação, argamassa de regularização e de argamassa de recuperação e proteção.

Borges (2012) diferencia as argamassas em quatro tipos, com relação a sua aplicação, são elas: argamassa para assentamento de alvenaria, argamassa para contrapisos, argamassas para revestimentos internos e externos e argamassa colantes e para rejuntamento.

Para este trabalho, iremos destacar as argamassas destinadas ao revestimento e ao assentamento.

2.3.1 Argamassa de assentamento

São argamassas usadas na alvenaria para a elevação de paredes e muros, servindo como liga entre blocos ou tijolos. Recena (2012) ressalta que algumas das suas principais funções são de distribuir uniformemente as cargas atuantes, absorver deformações sujeitas a alvenaria, impermeabilizar ou contribuir para a impermeabilização das paredes ou muros, e unir os elementos de alvenaria formando um elemento monolítico.

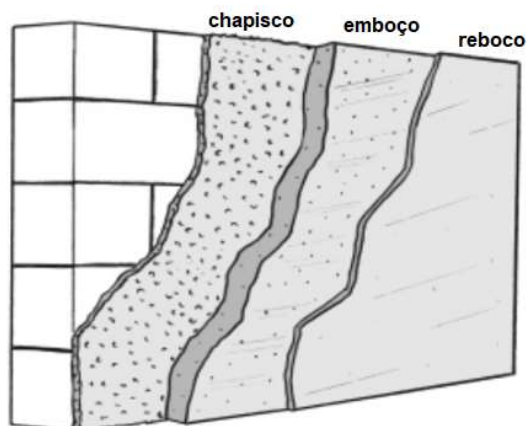
Carasek (2007) afirma as funções citadas por Recena (2012) e ainda destaca algumas das propriedades e requisitos esperados das argamassas com destino ao adensamento, são elas: trabalhabilidade, aderência, capacidade de absorver deformações, e resistência mecânica.

2.3.2 Argamassa de revestimento

Destinada ao revestimento de paredes e muros em alvenaria ou estruturas de concreto armado, é responsável por regularizar e uniformizar o substrato, essas correções de irregularidades acabam somando para a estética da estrutura. Com relação ao seu desempenho, espera-se que a argamassa de revestimento seja capaz de absorver as movimentações da estrutura, principalmente com relação a movimentação térmica. Ela deve apresentar, também, uma certa impermeabilidade à estrutura, possuir uma aderência satisfatória para com o substrato, além de funcionar como isolamento termo acústico (CARASEK, 2007).

ABCP (200-) define os nomes dados a argamassa de revestimento conforme a dosagem de seus constituintes e sua aplicação no substrato, são eles: Chapisco, reboco, emboço e emboço paulista. A figura 1 abaixo mostra a disposição das camadas diferenciadas de argamassa de revestimento.

Figura 1 – Camadas do revestimento em argamassa



Fonte: ABCP (200-, p. 12)

Como definição, ABCP (200-) cita chapisco como sendo uma mistura de cimento, areia e aditivos, usado para a preparação do substrato com o intuito de mascarar imperfeições da superfície e melhorar a aderência do revestimento. Ele pode ser aplicado de três maneiras, convencional, desempenado e rolado. Segundo ABCP (200-) o método convencional consiste em lançar, com o auxílio de uma colher de pedreiro, a argamassa fluida, que é produzida por cimento e areia grossa nas proporções de 1:3 a 1:5 em volume, de modo a formar uma película rugosa. O modelo desempenado é a aplicação de chapisco de argamassa industrializada para esse fim, aplicada com desempenadeira dentada. Para a aplicação de maneira rolada é usado o auxílio de um rolo para textura acrílica, que lança a argamassa em um estado fluido composto por cimento, areia, água e polímero, usualmente a base de PVA, resultando em uma superfície rugosa. Borges (2012) traz a definição de chapisco como uma camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, que tem por objetivo uniformizar a superfície quanto a absorção e a aderência do revestimento.

O emboço serve de substrato para o revestimento final, sendo aplicado logo em seguida do chapisco ou diretamente à base. Essa camada colabora com a regularização da superfície para melhor aplicação do acabamento, além de trazer estanqueidade e resistência ao fogo. Sua espessura pode variar entre 1,5 cm e 2,5 cm (LEMOS, 2010).

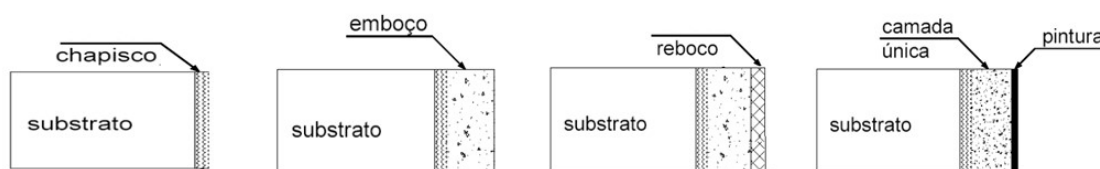
O reboco é usado para cobrir e preparar o substrato para a aplicação de revestimentos decorativos, ou ainda para servir como acabamento final. Segundo a ABCP (200-) são necessários alguns cuidados nessa etapa, como: verificar a integridade superficial do mesmo, para que seja possível a aplicação de uma camada

de tinta, se for o caso, e ainda a verificação da planicidade conforme condições de tolerância de acordo com NBR 13749 (ABNT, 2013)

O emboço paulista, também conhecido como massa única ou camada única, consiste em uma argamassa aplicada sobre o chapisco ou diretamente à base, que desempenha um papel, conforme o nome ressalta, de massa única integrando os conceitos de emboço e reboco.

A Figura 2 mostra as diferentes alternativas de revestimentos de paredes segundo Caraseck (2007).

Figura 2 - Diferentes alternativas de revestimentos de paredes



Fonte: Adaptado de Caraseck (2007).

2.4 Propriedades da argamassa no estado fresco

O período em que a argamassa se encontra em seu estado fresco é o intervalo desde a mistura de todos os seus componentes e o início da pega, ou seja, o período em que a argamassa aceita deformações plásticas com pequenas solicitações. Esse período apresenta uma série de características que avaliam a integridade da argamassa, tais como: trabalhabilidade, retenção de água, consistência, densidade de massa, adesão inicial, plasticidade e retração.

2.4.1 Retenção de água

Sob o âmbito de definição, Recena (2012) descreve a retenção de água em argamassas como a capacidade de liberar, lentamente, a água de amassamento para o meio externo ou em substratos porosos, quanto mais lento for o processo melhor será a resistência da argamassa, e menor sua probabilidade de fissuração. Essa lenta liberação da água de amassamento também contribui para melhorar sua aderência com a base em que foi aplicada, diminuindo riscos de deslocamento e melhorando o

sistema como bloco único entre argamassa e alvenaria. Essas vantagens são possíveis pelo maior período de hidratação do cimento.

Carasek (2007), por sua vez, define a retenção de água como uma propriedade que analisa a capacidade da argamassa se manter “trabalhável” quando sujeita a esforços que geram a perda de água de amassamento para o meio ambiente ou para o substrato. Quanto à retenção de água, Carasek (2007) faz uma comparação entre três tipos de argamassas: argamassas de cimento, argamassas mistas de cimento e cal e argamassas com aditivo retentor de água, respectivamente a que apresenta menor retenção para a de maior.

2.4.2 Tabalhabilidade, Consistência e plasticidade

A trabalhabilidade consiste na facilidade de manejo que a argamassa apresenta, ou seja, quando ela pode ser transportada, aplicada e misturada sem que se perca a sua homogeneidade. Para que uma argamassa se considere “trabalhável”, a aplicação deve propiciar a produtividade mantendo a aderência necessária com a base e ainda apresentar um acabamento superficial satisfatório (CARASEK, 2007). Recena (2012), porém, avalia a trabalhabilidade somente pelo seu lado de possível produtividade, ela cita que a propriedade se refere à facilidade de aplicação da argamassa de modo que cumpra sua finalidade sem comprometer a produtividade em termos de rendimento e custo.

Cerasek (2007) diz que a consistência de uma argamassa é dada pela quantidade de pasta aglomerante que envolvem os agregados. Uma argamassa é considerada de consistência seca quando a pasta aglomerante não é suficiente para eliminar o contato entre os agregados, tornando-a áspera. Quando a massa aglomerante consegue separar os agregados envolvendo-os com uma camada fina, essa argamassa é dita com consistência plástica. A argamassa chega em uma consistência fluída se a proporção de massa em relação ao agregado se torna maior de modo que não há coesão interna entre os grãos e possui tendência ao grão depositar-se por gravidade.

A consistência e a plasticidade são os principais fatores que regem a propriedade de trabalhabilidade de uma argamassa. A trabalhabilidade muda conforme o operador acrescenta ou diminui a quantidade de água na mistura da argamassa, mantendo seus componentes pré-fixados, essas mudanças tornam

argamassas com consistências e plasticidades diferentes. Esta recebe influência de fatores como a quantidade de aglomerantes e agregados da mistura, do tempo, da intensidade de mistura e também pela presença de aditivos, ela está ligada diretamente a viscosidade que a argamassa apresenta (CARASEK, 2007).

Borges (2012) observa que a consistência e a plasticidade ideais são diferentes dependendo de sua aplicação. Uma argamassa projetada mecanicamente necessita de uma massa fluida, ou seja, com alta plasticidade, já uma argamassa aplicada manualmente, é necessária uma mais firme.

2.4.3 Densidade de massa

Assim como a consistência e a plasticidade, a densidade de massa também tem influência direta na trabalhabilidade, pois quanto menor for a densidade de massa de uma argamassa, mais maleável ela se torna, portanto de melhor manuseio.

A densidade de massa, também chamada de massa específica, nada mais é do que a relação de massa sobre volume, ou seja, a quantidade de massa concentrada em uma unidade de volume, que varia linearmente conforme o teor de ar que a argamassa apresenta, quanto maior o teor de ar na mistura, mais leve e “trabalhável” ela se torna (CARASEK, 2007).

2.4.4 Adesão inicial

A adesão inicial é a propriedade que rege a capacidade da argamassa em seu estado fresco de se fixar inicialmente no substrato, ou seja, a capacidade da pasta de penetrar em poros e rugosidades da base.

Carasek (2007) fala sobre a adesão inicial de uma argamassa estar ligada diretamente à tensão superficial, quando se aumenta a tensão superficial aumenta-se o ângulo de contato entre as duas partes, fazendo com que a adesão diminua. Essa tensão superficial pode ser reduzida à medida que se aumenta o teor de cimento na composição da argamassa, mas não somente, pode ser adicionado cal ou aditivos como incorporadores de ar ou retentores de água, para a melhora da aderência inicial de uma argamassa.

Associada a Trabalhabilidade, a adesão inicial é descrita por Borges (2012) como a propriedade que indica a capacidade de aderência ao substrato sem escorrer

ou desprender, permitindo manipulações e garantindo contato efetivo entre a massa e o substrato.

2.4.5 Retração

O processo de retração de uma argamassa se baseia na redução do volume da massa durante seu estado fresco, isto causa a fissuração e compromete integridade da argamassa. Segundo Pereira (2007) a perda de água é a principal causa que gera o efeito de retração, tendo influência de diversas variáveis, como a temperatura, a umidade relativa do ambiente, as propriedades dos materiais, o tamanho do elemento construtivo e a idade em que a argamassa é submetida ao ambiente seco.

De acordo com Carasek (2007), alguns fatores podem influenciar no processo de retração, tais como:

- Quanto mais lenta for a secagem da argamassa, maior será sua resistência a tração, sendo menor a sua fissuração;
- O teor de cimento é diretamente proporcional ao processo de fissuração;
- Com relação a argamassas de revestimento, quanto maior a espessura de aplicação, maior a retração esperada; e
- Argamassas com agregado miúdo de granulometria bem graduado, são propícios a retrações menores.

2.5 Propriedades da argamassa no estado endurecido

O estado endurecido de uma argamassa é estabelecido a partir do fim do estado fresco. A ele são atribuídas algumas propriedades, Caraseck (2007) cita algumas delas: aderência, resistência mecânica, capacidade de absorver deformações, baixa retração e baixa permeabilidade à água.

2.5.1 Aderência

A aderência no estado endurecido é a propriedade que rege a capacidade da argamassa de manter-se presa ao substrato. Está ligada diretamente as propriedades

dos materiais aderidos, a limpeza superficial da base e ao procedimento realizado para a execução (FRANCISCON, 2007).

Para Carasek (2007) a aderência no estado endurecido atua para analisar a resistência e a extensão do contato entre argamassa e o seu substrato. Sendo assim, a resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência, que se caracteriza como sendo a área de contato efetivo em relação a área total possível a ser unida.

2.5.2 Resistência mecânica

As argamassas devem ter uma resistência inicial que possibilite sua utilização. Após sua aplicação, durante todo seu estado fresco, vai adquirindo um ganho de resistências mecânicas que segundo Carasek (2007), em argamassas destinadas ao assentamento, não há necessidade de resistências elevadas, não devendo ultrapassar os valores de resistência apresentados pelos blocos de alvenaria. Isso ocorre uma vez que a argamassa exerce pouca influência na resistência de compressão dos blocos atribuída a ideia de que argamassas com resistências elevadas geralmente possuem teores de cimento elevados, tornando o produto caro e com baixa capacidade de absorver deformações.

Recena (2012) completa comentando que para a propriedade de resistência mecânica ser satisfatória, é necessário a análise da resistência levando em conta o uso da argamassa. Resistências elevadas são secundárias para argamassas de revestimento e assentamento, tornando-se somente um parâmetro de qualidade, porém é de extrema importância para argamassas destinadas a recuperação estrutural.

Como dito, a argamassa necessariamente não necessita de valores elevados, porém deve apresentar resistência suficiente para suportar as movimentações da base sem que haja fissuras ou falha de aderência (TRISTÃO, 1995 apud ARAÚJO JR, 2004).

2.5.3 Capacidade de absorver deformações

As argamassas são usadas para ligar ou revestir elementos de características diferentes, tornando-se inevitável a movimentação entre os elementos. A argamassa

tem a função de absorver deformações resultantes da dilatação causada pela temperatura ou ainda ações da umidade, entretanto, não tem responsabilidade em absorver deformações maiores, como de recalques estruturais.

A capacidade de absorver deformações depende de diferentes fatores, Recena (2012) cita a importância do módulo de elasticidade, que é inversamente proporcional a capacidade de as argamassas absorverem deformações.

De acordo com ABCP (200-), essa propriedade também está relacionada a resistência a tração, uma característica que trabalha inversamente a retração da argamassa.

2.5.4 Retração

Levando em consideração a retração total de uma argamassa, a parcela de retração do estado fresco é maior do que a parcela no estado endurecido (BASTOS, NAKAKURA, CINCOTTO, 2005).

Bastos (2001) reconhece essa propriedade como a retração após a pega da argamassa. Ele ressalta a retração por secagem para esse estado físico, que se caracteriza pela perda de água para o meio externo, portanto é influenciada pelo tamanho e características dos vazios e pela forma com que a água se adere nas paredes dos vazios. Para melhor explicar a diferença entre a retração no estado fresco e no estado endurecido, segundo Bastos (2001), no estado fresco a redução de volume corresponde ao volume de perda de água enquanto que no estado endurecido, devido a influência da formação do esqueleto rígido e do aumento da resistência mecânica com o tempo, a redução do volume não corresponde ao volume de perda de água.

2.5.5 Permeabilidade da água

Uma das funcionalidades da argamassa é a capacidade de ajudar na estanqueidade da estrutura, que está diretamente relacionada a permeabilidade da água que a argamassa apresenta, característica primordial quando se trata de estruturas expostas a locais de elevados índices pluviométricos. Baía e Sabbatini (2008, p.25) enfatizam que argamassas de revestimento devem ser estanques as águas líquidas, entretanto, devem ser permeáveis ao vapor, essa característica facilita

a secagem de água infiltrada na estrutura ou decorrente de ações direta de vapor de água, como em banheiros.

A permeabilidade da água é uma propriedade que depende da porosidade da argamassa, sempre levando em conta o sistema base-argamassa, assim como a presença de fissuras, que geram caminhos que facilitam a percolação da água.

Segundo Baía e Sabbatini (2008, p.25) essa propriedade é influenciada pela natureza da base, pela técnica de execução da aplicação da argamassa, pela sua composição e dosagem, pela espessura de revestimento argamassado aplicado ou ainda da qualidade do acabamento final dada a argamassa.

2.6 Compósitos cimentícios com borracha de pneu

Compósitos cimentícios são materiais resultantes da mistura de diferentes componentes junto ao cimento, cada um trazendo funções favoráveis para a união como um todo.

Beneficiar a mistura não é o único fato que torna os compósitos cimentícios atrativos para o mercado, eles também vêm trazendo uma alternativa para uso de materiais considerados descartáveis, o que é uma nova visão para materiais reciclados, como é o caso de resíduos de borracha de pneu.

A borracha de pneu é incorporada em compósitos cimentícios depois de triturada, sendo acrescida a mistura em diferentes porcentagens ou substituindo totalmente os demais agregados.

2.7 O pneu como material reciclado no Brasil

Com a visível degradação do meio ambiente por meio de ações humanas, a preservação ambiental se tornou assunto popular, que clamam por mudanças significativas quanto a prevenção de desequilíbrios naturais e por ações imediatas para o combate a essa agressão a natureza.

Neste contexto, chama-se a atenção para o descarte incorreto de pneus no Brasil, muitas vezes jogados em rios, terrenos abandonados e vias públicas, atraindo a proliferação de animais transmissores de doenças como a dengue e leptospirose. Esses resíduos tem um destino ainda mais preocupante quando queimados, uma vez

que liberam gases tóxicos para a atmosfera, prejudicando tanto o meio ambiente quanto a saúde humana.

Em função do exposto, surgiram diversos procedimentos e metas para o destino de pneus inservíveis no Brasil, caracterizado pela resolução CONAMA nº 416 (BRASIL, 2009) como pneus que apresentam danos irreparáveis, impossibilitando seu uso para rodagem ou reforma. Esses métodos estabelecem o recolhimento de pneus inservíveis pelos próprios fabricantes e distribuidores de pneus. Todo esse processo da criação de normas para a melhora ambiental, tornou a reciclagem dos pneus inservíveis muito mais atrativa, estimulando novos estudos e tecnologias para o destino desse material.

Essa instigação, unidos ao acréscimo visível da frota de veículos brasileiros, motivou a ANIP, uma empresa fundada em 1960 produtora de pneus e câmaras de ar para a indústria automobilística, a criar o Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis em 1999. Em 2007, este projeto foi fortalecido com a criação do Reciclanip, um programa sem fins lucrativos, fundada pelas empresas Bridgestone, Goodyear, Michelin e Pirelli, posteriormente a entidade recebeu o apoio das empresas Continental e Dunlop, todas estas empresas de produção de novos pneus. A Reciclanip é uma grande iniciativa em termos de pós-consumo da indústria brasileira, surgiu com a ideia de coletar os pneus inservíveis e destina-los de maneira adequada. Hoje o projeto conta com 1024 pontos de coleta, espalhados por boa parte do território brasileiro. No período de janeiro a setembro de 2017, o investimento no programa ultrapassou 73 milhões de reais e foi responsável pelo destino correto de mais de 360 mil toneladas de pneu (ANIP, 2018).

A resolução CONAMA nº 416 (BRASIL, 2009) enfatiza que pneus usados devem ser preferencialmente reformados, reutilizados e reciclados. Portanto antes de considerarmos um pneu como inservível este material deve ser avaliado para se verificar a possibilidade de reaproveitamento através dos processos de recapagem, remoldagem e recauchutagem, caso isso não for possível ele será reciclado.

Silva (2017), cita que os pneus são divididos em dois grupos, os radiais, que contêm aço em sua estrutura, dificultando o processo de reciclagem e os diagonais, que são compostos por fibras de nylon, facilitando a reciclagem. No processo de reciclagem podemos usar pneus inteiros, para artesanatos e contenção de solos, ou pode ser usado os resíduos do pneu, para isso, conforme Lagarinhos (2011) no Brasil usado um processo de trituração a temperatura ambiente, onde os pneus são

triturados em moinhos de facas, e passados no granulador, atingindo dimensões próximas a 10 mm, esse processo também conta com a separação do aço e de fibras têxteis, tanto no processo de granulagem quanto posteriormente em métodos específicos para finalizar a retirada desses materiais.

2.8 Materiais sintéticos em argamassas

Materiais sintéticos são aqueles produzidos ou modificados pelo homem, são materiais artificiais que não foram extraídos diretamente do meio ambiente. Quando adicionados as argamassas, esses materiais podem atribuir qualidades a esse produto, dependendo da sua aplicação. Nos últimos anos, pesquisadores têm desenvolvido estudos científicos sobre diferentes agregados sintéticos, principalmente aqueles que possam atribuir qualidades diferentes e interessantes à argamassa.

Barroca (2013) elaborou estudos sobre o uso em argamassas de materiais sintéticos como argila expandida e materiais sintéticos provenientes de reciclagens, nomeadamente, cortiça natural, cortiça expandida e poliestireno expandido, todos materiais leves. Analisou a aplicação desses agregados artificiais em substituição, com relação a massa, ao agregado natural, nos teores de 25%, 50% e 75%. Segundo a autora, de modo geral todas as adições se mostraram favoráveis, com exceção da cortiça expandida, que não demonstrou bons resultados nas propriedades estudadas. As demais misturas apresentaram durante o estado fresco, um baixo teor de ar incorporado e elevada retenção de água. No estado endurecido mostraram elevadas resistências à compressão axial, à tração na flexão e de aderência por tração, contando também com baixos valores de capilaridade e retração.

Oliveira, Alves e Dias (2010) analisaram a implementação de fibras acrílicas em argamassas, realizando ensaios com diferentes dimensões de fibras para porcentagens de incorporação de 0,2%, 0,5% e 1%. Os resultados dos ensaios foram comparados a dois corpos de prova de referência, em um deles foi introduzido fibras de vidro e no outro, fibras de polipropileno. Foi observado um comportamento mecânico semelhante entre a adição de fibra acrílica e os corpos de referência, destacando-se o bom desempenho quanto a retração para esse composto cimentício.

Estudos sobre o uso de resíduos reciclados de vidro e cerâmica em argamassas, foram tópicos do artigo realizado por Pereira e Santos (2010). Para a

confeção dos corpos de prova, o material foi moído e separado em diferentes granulometrias, em intervalos de 0-45 μm , 45-75 μm e 75-150 μm , onde foram ensaiados substituindo o cimento nas porcentagens de 10%, 20%, 25%, 30% e 40%. Em sua pesquisa foi observada diminuição da consistência da argamassa ao serem utilizados resíduos cerâmicos na granulometria de 75-150 μm e um aumento de resistência a compressão diretamente proporcional a finura do agregado. De acordo com os autores, a substituição é totalmente viável e encorajadora, já que se trata de um material diretamente reciclado, entretanto algumas características diferem da argamassa usual e para tanto deve ser analisada cada substituição quanto a compatibilização com a aplicação desejada. Do ponto de vista econômico o índice de atividade pozolânica é obtido sem perdas significativas de resistência a compressão na granulometria de 45-75 μm .

Visto alguns dos estudos sobre a aplicação de materiais sintéticos, sendo eles reciclados ou não, em argamassas, é importante ressaltar que não se deve generalizar as composições, cada autor utilizou técnicas de substituição e geometrias diferentes para os seus componentes. O uso dos materiais artificiais deve ser sempre acompanhado a um estudo da aplicação da argamassa, e é incentivado a pesquisa de novas composições, com diferentes substituições e diferentes geometrias.

2.9 Aplicações de resíduo de pneu reciclado

O resíduo de pneu segue para diversos ramos da reciclagem. Segundo ANIP (2018), a maior parte dos pneus arrecadados na iniciativa Reciclanip vão para a queima, onde geram combustível alternativo para indústrias de cimento. O combustível gerado pela queima de pneus inservíveis é uma ótima substituição ao coque de petróleo, isso se dá pelo elevado poder calorífico dos pneus, alcançando 27 milhões de BTU por toneladas de calor líquido.

A ANIP (2018) também conta com outros meios de destinação, a borracha arrecadada pode participar em tapetes de automóveis, pisos industriais e pisos para quadras poliesportivas. As lâminas de pneus diagonais inservíveis podem ser transformadas em solas de calçados ou ainda fazer parte da fabricação de percintas ou até dutos de águas pluviais.

Os pneus inservíveis também participam de estruturas da engenharia civil. Já se usa a borracha triturada em pavimentos, que incorporado com a massa asfáltica

torna a estrutura mais maleável, aumentando sua vida útil e diminuindo o ruído produzido pelas vias. Também há estudos sobre o uso da borracha na manta asfáltica, usada para a impermeabilização de estruturas.

2.10 Matrizes cimentícias modificadas com borracha de pneu

A borracha de pneu é cada vez mais usada na engenharia civil, estudos incorporam a utilização dela ao asfalto, à manta asfáltica, ao concreto e ainda em argamassas, tornando o que era um pneu inservível em parte da criação de novas matérias primas.

Com relação aos estudos da utilização de borracha de pneu em concretos, Schimelfenig *et al.* (2017) analisou as propriedades mecânicas de concretos com substituições de 5% e 15% de agregado miúdo pelo pó de borracha de pneu. Em seu estudo, essa substituição foi feita pela borracha em seu estado natural e pela borracha tratada com hidróxido de sódio. Os resultados mostraram uma redução da densidade dos concretos com incorporação de borracha de pneu. Os autores também observaram, uma redução da resistência a compressão axial em torno de 12% a 15% em relação ao concreto de referência. Além disso, foram observadas perdas na resistência a tração por compressão diametral e no módulo de deformação dos concretos.

Ferreira *et al.* (2017) realizou o estudo da substituição em volume da areia natural pelo pneu moído nos teores de 10% e 20%. Para os concretos com a incorporação de pneu moído o autor observou uma redução na quantidade de água da mistura, para uma mesma trabalhabilidade. Os valores de absorção de água e índices de vazios apresentaram uma tendência de redução para as misturas com adição de pneu moído. Também foi observada uma queda na densidade aparente e na resistência mecânica dos concretos. Segundo o autor essa redução foi diretamente proporcional ao acréscimo do teor de borracha nas misturas.

Silveira *et al.* (2017) estudou a incorporação de borracha de pneu em concretos, realizando sua incorporação na mistura pela substituição em massa do agregado miúdo nas porcentagens de 3%, 5% e 10%. Com a análise das propriedades mecânicas desses concretos, o autor observou perdas tanto na resistência à compressão axial das misturas quanto na resistência à tração por compressão

diametral. Os resultados obtidos pelo autor corroboram com as colusões que Ferreira *et al.* (2017) e Schimelfenig *et al.* (2017).

Santos e Andreghetto (2017) analisaram o comportamento do concreto com o implemento da borracha de pneu em formato de fibras provenientes de recauchutagem (processo que retira a banda de rodagem do pneu e a substitui por uma nova). Para os ensaios foram preparadas amostras com adição de fibras de borracha, em relação ao volume de agregado miúdo, de 5% e 10% e com substituição em volume do agregado miúdo pelas fibras de pneu, também nas porcentagens de 5% e 10%. Todas as misturas tiveram suas propriedades comparadas ao traço de referência, produzido de modo usual. Foram observadas quedas de resistência à compressão axial, sendo que a redução de resistência foi maior nos concretos com adição de borracha e menor para os concretos com substituição parcial do agregado miúdo. As adições e substituições mostraram também uma influência negativa para a aderência entre a matriz e o aço, dados constatados no ensaio de arrancamento, demonstrando ineficiência para concreto armado. Em conclusão, os autores enfatizam que a utilização da fibra de borracha, em pequenas quantidades, melhora qualidades do concreto, trazendo maior ductibilidade, fato importante para situações de impacto.

Atualmente, há muitos estudos que também incorporam o pó de borracha em argamassas (Meneguini, 2003; Massolla, 2012; Pinto e Fioriti, 2013; Canova, Bergamasco e Neto, 2015, entre outros). Pinto e Fioriti (2013) compararam uma argamassa mista de revestimento como referência com outras três com incorporação de pó de borracha de pneu em granulometrias diferentes. Neste caso, a borracha foi utilizada em substituição parcial em volume do agregado miúdo na ordem de 10%. Os autores apresentaram como conclusão de suas análises: a diminuição da densidade de massa aparente tanto no estado fresco quanto no endurecido; o aumento da capacidade de absorver energia relacionada diretamente a granulometria; e o aumento da absorção de água por capilaridade.

Massolla (2012) usou o resíduo de borracha em argamassas na forma de fibras alongadas. Para a incorporação do material, o autor substituiu parcialmente (em volume) o agregado miúdo nos teores de 10%, 15% e 20%. As fibras foram retiradas dos pneus pelo processo de recauchutagem, que consiste na raspagem do pneu inservível para a colagem de uma nova camada externa de rodagem. O autor realizou uma comparação entre argamassas de revestimento usual e as argamassas com reforço de fibras de borracha. Com o estudo, Massolla (2012) verificou que a adição

de borracha trouxe como benefícios a diminuição dos valores da densidade, redução da capilaridade, redução da absorção de água e diminuição do módulo de elasticidade, características que contribuem para evitar fissuras por retração.

Meneguini (2003) realizou estudos em argamassas com substituição parcial do agregado miúdo pelo pó de borracha, no percentual de 10% em relação a massa de cimento. Diferentemente dos outros estudos apresentados, Meneguini (2003) faz o tratamento da borracha com solução de hidróxido de sódio comercial, objetivando melhorias na aderência dos componentes. Como resultados, o autor enfatiza que o aumento de 45,78% na resistência ao desgaste por abrasão em comparação a argamassa convencional, demonstrou um acréscimo na adesão dos materiais. Segundo o autor, o resultado conquistado deve-se em parte pelo tratamento superficial do resíduo reciclado. Meneguini (2003) também apresenta em sua literatura outros resultados favoráveis ao uso do pó de borracha, como melhoras na coesão da argamassa (devido a finura do pó de borracha), melhora da trabalhabilidade, e redução da densidade aparente da argamassa.

Canova, Bergamasco e Neto (2015) trazem a mistura de pó de borracha de pneu em uma argamassa mista, que além dos componentes usuais, leva cal virgem em sua mistura. Os autores utilizam o resíduo reciclado em substituições em volume do agregado miúdo, nos percentuais de 6%, 8%, 10% e 12%. As argamassas com as adições aplicadas como revestimento apresentaram menor incidência de fissuras, redução no módulo de deformação estática, aumento no teor de ar incorporado, queda na absorção de água por imersão, melhora da trabalhabilidade e diminuição da massa específica. Como aspecto negativo, quanto maior a porcentagem de substituição entre os agregados, menores foram as propriedades mecânicas, o que não impede o uso da argamassa para fins de revestimento e assentamento.

A Tabela 1 mostra o comparativo entre alguns autores que apresentaram estudos semelhantes ao que será abordado neste trabalho. Segundo CSTB (1993, apud Oliveira, 2017), para argamassas de revestimento, é requisito mínimo ter percentual de retenção de água maior que 80 e coeficiente de capilaridade menor que $4 \text{ g/dm}^2 \cdot \sqrt{\text{min}}$.

Tabela 1 – Comparativo de autores

Propriedade	CANOVA, BERGAMASCO e NETO (2015)					MASSOLLA <i>et al.</i> (2013)				PINTO e FIORITI (2013)			
% de substituição em volume	0%	6%	8%	10%	12%	0%	10%	15%	20%	0%	10% FINA	10% MÉDIA	10% GROSSA
Teor de ar incorporado (%)	6,12	8,92	9,25	9,92	11,45	Não determinado.				Não determinado			
Densidade de massa (g/cm ³)	Não determinado.					2,08	1,99	1,93	1,99	2,4	2,3	2,25	2,25
Retenção de água (%)	92,33	92,53	92,5	92,3	92,16	Não determinado				Não determinado			
Res. à comp. (MPa)	1,34	1,28	1,23	1,19	0,99	Não determinado				Não determinado			
Absorção de água (g/cm ²)	Não determinado.					Não determinado				1,75	1,82	1,81	1,9
Coef. de capilaridade (g/dm ² .√ min)	Não determinado.					21	16	16,2	11,8	Não determinado.			

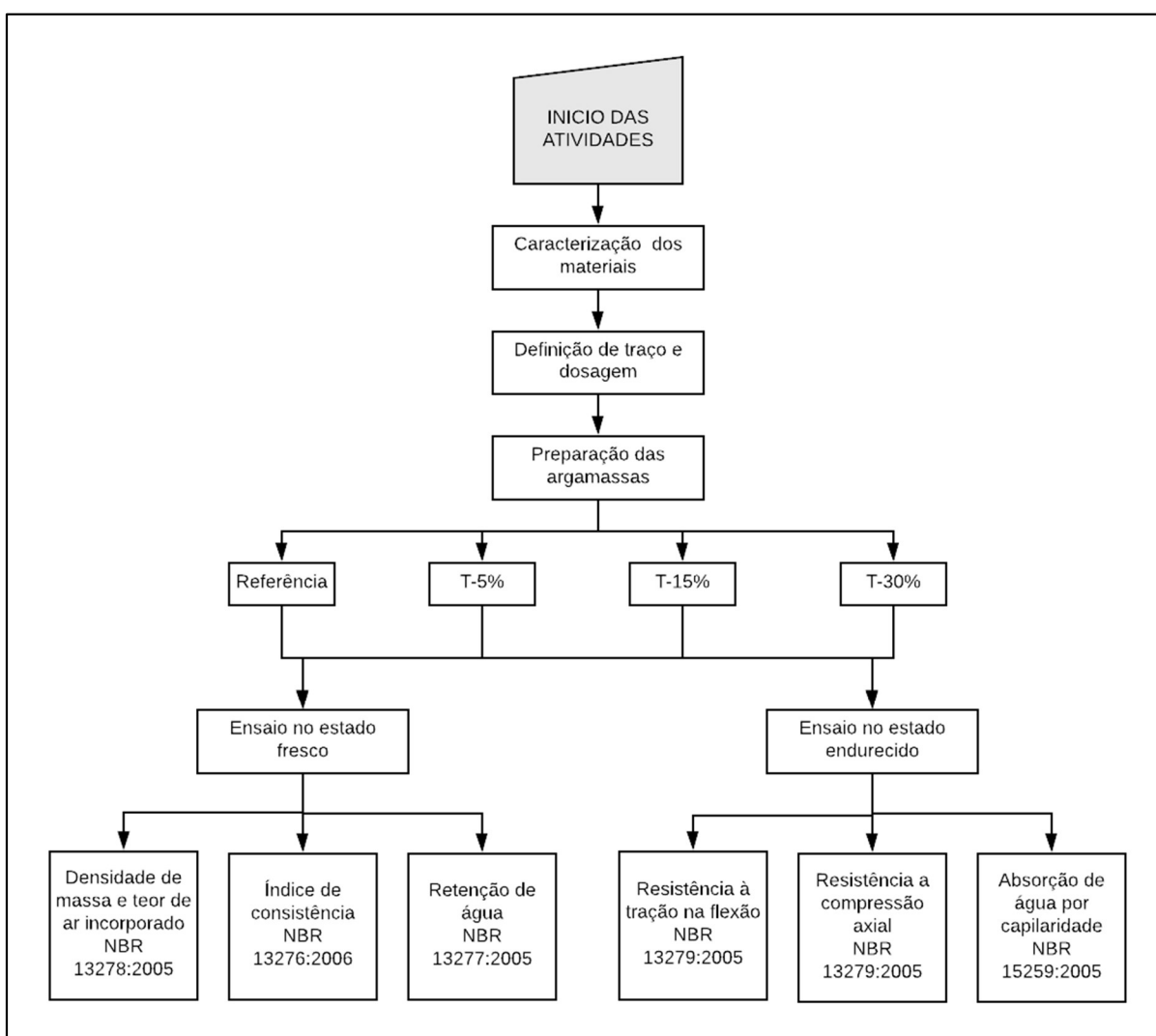
Fonte: Próprio autor

Em função do exposto, para o trabalho em questão é esperado que a argamassa com pó de borracha de pneu resulte em um material próximo a argamassa de referência (argamassa produzida usualmente). Além do mais, espera-se que essa novidade apresente características melhoradas, principalmente quanto a densidade de massa aparente, acarretando qualidades termo acústicas, e de trabalhabilidade. Em contraponto, também é previsto uma queda nas propriedades mecânicas da argamassa, conforme os estudos já citados, porém acredita-se que os resultados não afetem o uso da massa como revestimento, não sendo aconselhado o seu uso, por exemplo, em reparos estruturais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este item irá abordar o programa experimental delineado para a pesquisa, as características dos materiais utilizados e a metodologia adotada para cada ensaio de controle especificado. A Figura 3 mostra o fluxograma com as etapas do programa experimental.

Figura 3 – Fluxograma do programa experimental



Fonte: Próprio autor

3.1 Materiais

Os tópicos 3.1.2 a 3.1.3 apresentam os materiais selecionados para a confecção das argamassas.

3.1.1 Cimento Portland

Para a confecção das argamassas foi utilizado cimento do tipo CPIV - 32. A caracterização física, química e mecânica - fornecida pelo fabricante do produto - é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Propriedades físico-químicas e mecânicas do cimento CPIV - 32

Finura			Tempo de Pega (h:min)		Resistência a Compressão (MPa)		
Blaine (cm ³ /g)	#200 (%)	#325 (%)	Início	Fim	03 Dias	07 Dias	28 Dias
4690	0,1	-	05:50	07:20	19,3	23,2	38,2
MgO (%)		SO ₃ Média (%)		Perda ao Fogo (%)		Resíduo Insolúvel(%)	
4,4		1,7		2		29,3	
pH em solução Aquosa		Massa Específica Absoluta (g/cm ³)		Solubilidade em água (g/L)		Massa Específica Aparente (g/cm ³)	
12 ≤ pH ≤ 14		2,7 ≤ Ya ≤ 3,2 a 20°C		Até 1,5 a 20°C		0,9 a 1,2 a 20°C	

Fonte: Disponibilizado pelo Fabricante

A determinação da massa específica do cimento Portland também foi realizada em laboratório, de acordo com a MN 23 (ABNT, 2001), tendo como resultado médio o valor de, 2,75 g/cm³, que de acordo com a Tabela 2, cumpre os requisitos do fabricante.

3.1.2 Areia

Como agregado miúdo foi utilizada a areia natural (Figura 4) proveniente do Rio Ibicuí da cidade de Manoel Viana – RS. A caracterização desse material foi realizada através da norma NM 248 (AMN, 2001), determinação da composição granulométrica e da norma NM 52 (AMN, 2002), determinação de massa específica e massa específica aparente.

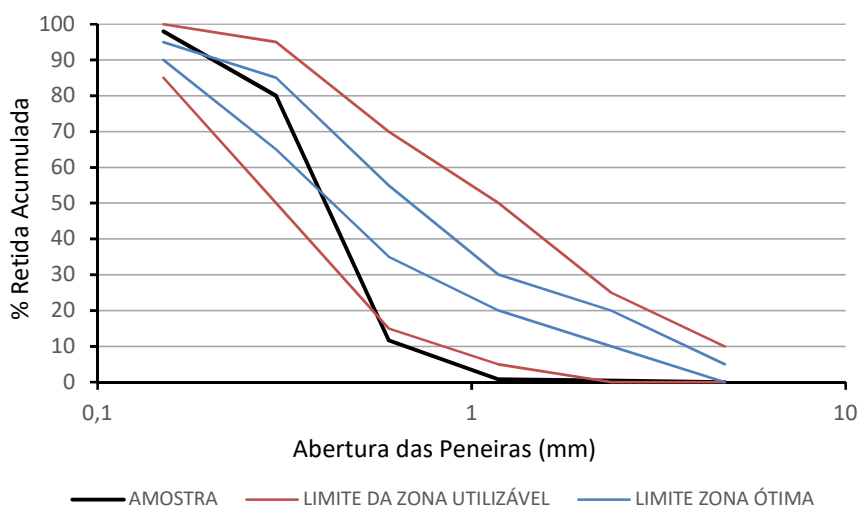
Figura 4 – Areia do Rio Ibicuí



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 1 apresenta a composição granulométrica do agregado miúdo natural. Para a amostra foi encontrado módulo de finura na ordem de 1,92 e um diâmetro máximo de 1,18 mm.

Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado miúdo natural



Fonte: Próprio autor

Segundo Bauer (2000) a areia em análise é caracterizada como fina, devido seu módulo de finura médio estar entre 1,71 e 2,85. O Gráfico 1 mostra parte da curvatura da areia abaixo da zona utilizável, entretanto esse material é utilizado na área de construção civil da cidade de Alegrete-RS.

Os ensaios para determinação da massa unitária e da massa específica do agregado foram realizados pelas NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR 9776 (ABNT, 1987) respectivamente. O resultado médio obtido da massa específica unitária foi de $1,62 \text{ g/cm}^3$ já o da massa específica, $2,65 \text{ g/cm}^3$.

3.1.3 Pó de borracha de Pneu

A borracha de pneu utilizada nesse estudo é proveniente da moagem de material reciclado (Figura 5). Sua implementação nas argamassas se dará pela substituição em volume, nas porcentagens de 5%, 15% e 30%, do agregado miúdo. A caracterização do material foi realizada em conformidade com as normas NM 248 (AMN, 2001) e NM 52 (AMN, 2002).

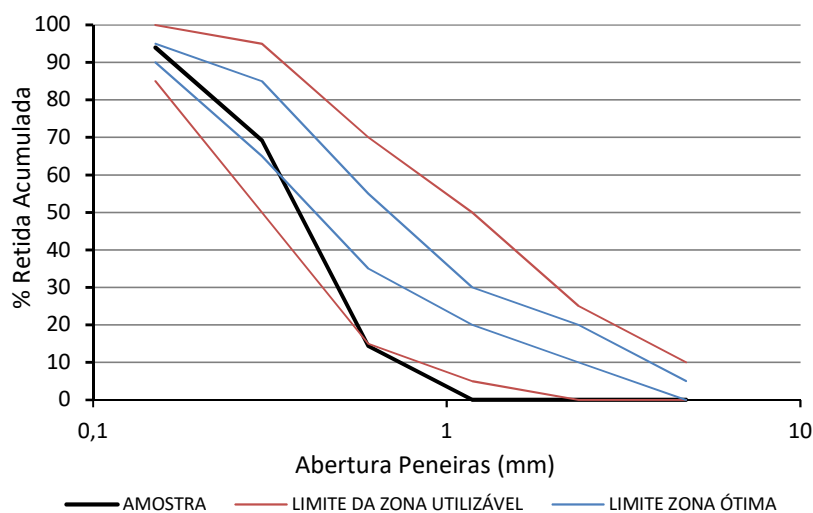
Figura 5 – Pó de borracha de pneu



Fonte: Próprio autor

O Gráfico 2 apresentam as características granulométricas do pó de borracha de pneu. O diâmetro máximo encontrado foi de 1,18 mm, enquanto o módulo de finura se estabeleceu em 1,78.

Gráfico 2 – Curva granulométrica do pó de borracha



Fonte: Próprio autor

Em comparação à areia natural, o pó de borracha de pneu é classificado de acordo com Bauer (2000) como uma areia fina, tendo seu módulo de finura entre 1,71 e 2,85.

O Gráfico 2 apresenta semelhanças, se comparada com a curva granulométrica da areia natural, sendo caracterizadas como areia fina. Com os resultados apresentados e comparados acredita-se que essa semelhança viabiliza a substituição parcial da areia pelo pó de borracha.

Assim como para o agregado natural, a massa específica unitária foi obtida pela NBR NM 45 (ABNT, 2006), tendo como resultado médio $0,38 \text{ g/cm}^3$, entretanto não foi possível determinar a massa específica do pó de borracha de pneu. Isso se justifica pela baixa densidade da amostra, tornando-se inviável, para as condições atuais, ensaios que necessitem o decanto do material. Entretanto outros autores apresentam resultados por meio de ensaios alternativos, como através da picnometria de gás hélio, técnica indicada para determinar a densidade real de materiais em forma de pó. Para fins de cálculo, a massa específica adotada foi de $1,16 \text{ g/cm}^3$, dados embasados no estudo de Junior e Martinelli (2014), a adoção é justificada pela semelhança entre as massas unitárias, tendo como variação $0,01 \text{ g/cm}^3$.

3.1.4 Cal Hidratada

Por meio da NM 23 (ABNT,2001) foram determinadas as características físico-químicas do material. A massa específica média resultou em aproximadamente 2,48 g/cm³. Segundo Recena (2012), os valores encontrados condizem com o esperado, em torno de 2,5 g/cm³.

3.2 Métodos

Essa seção apresentará um detalhamento da metodologia utilizada para o desenvolvimento do programa experimental.

3.2.1 Preparação das argamassas

A preparação das matrizes cimentícias foi realizada conforme a NBR 16541 (ABNT, 2016). A norma descreve os métodos usados no preparo de argamassas de assentamento e revestimento.

O traço escolhido, embasado no estudo de Duó (2017), apresenta uma proporção de 1:4 (aglomerante:agregado miúdo) de volume. A decisão de referência tem por finalidade futuras comparações entre os trabalhos, ambos utilizando a incorporação de agregados reciclados em misturas de argamassa de revestimento. Dessa forma, mantem-se os mesmos parâmetros de controle no que tangem materiais, equipamentos e métodos adotados. A Tabela 3 mostra a dosagem das argamassas com e sem substituição do agregado miúdo por pó de borracha.

Tabela 3 - Traço unitário em volume

Amostra	Cimento	Cal	Areia	Pó de borracha	Água
Referência	0,75	0,25	4	0	1,30
T-5%	0,75	0,25	3,8	0,2	1,30
T-15%	0,75	0,25	3,4	0,6	1,30
T-30%	0,75	0,25	2,8	1,2	1,30

Referência – Traço sem adição de pó de borracha de pneu

T-5% - Traço de argamassa com 5% de substituição de areia natural por pó de borracha de pneu.

T-15% - Traço de argamassa com 15% de substituição de areia natural por pó de borracha de pneu.

T-30% - Traço de argamassa com 30% de substituição de areia natural por pó de borracha de pneu.

Fonte: Próprio autor.

A moldagem foi realizada conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005). Para as amostras com incorporação de pó de borracha de pneu, foram retirados os grãos passantes da peneira de malha 0,15 mm. Cada molde recebeu uma camada de óleo mineral com o intuito de facilitar a desforma. A Figura 6 apresenta os processos para a elaboração dos corpos de prova.

Para a realização dos ensaios no estado endurecido, foram moldadas 6 amostras por traço, somando 24 corpos de prova em modelos prismáticos com dimensões de 4x4x16 cm (Figura 6-C). As amostras foram submetidas a cura ao ar.

Figura 6 – Processo de moldagem da argamassa



Fonte: Próprio autor

3.2.2 Avaliação das Propriedades das argamassas

Os estudos das propriedades das argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, seguiram as prescrições normativas vigentes no Brasil.

No estado fresco, foram delimitadas como foco do estudo as propriedades de densidade de massa e o teor de ar incorporado (NBR 13278 (ABNT, 2005)), índice de consistência (NBR 13276 (ABNT, 2016)) e retenção de água (NBR 13277 (ABNT, 2005)).

No estado endurecido, as propriedades mecânicas delimitadas foram: resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial ((NBR 13279 (ABNT, 2005)) e absorção de água por capilaridade (NBR 15259 (ABNT, 2005)).

As avaliações e análises das propriedades estudadas são apresentadas e discutidas no Capítulo 4 – Análise dos Resultados.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nessa seção serão apresentados os resultados dos ensaios realizados bem como a análise dos dados das propriedades investigadas, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido. Será realizada a comparação do modelo de referência com as argamassas com pó de borracha de pneu.

4.1 Propriedades das argamassas no estado fresco

As propriedades das argamassas no estado fresco são apresentadas e discutidas nos itens 4.1.1 a 4.1.3.

4.1.1 Densidade de massa e teor de ar incorporado

A densidade de massa e o teor de ar incorporado das argamassas foram determinadas pela NBR 13278 (ABNT, 2005). A densidade de massa foi adquirida pela razão entre a massa do material e o volume de recipiente cilíndrico. Enquanto que o teor de ar incorporado foi determinado pela divisão entre a densidade de massa da argamassa e a densidade de massa teórica da argamassa. O Anexo A e B mostram os resultados completos do ensaio, na Tabela 4 estão dispostos o resumo dos resultados.

Tabela 4 – Densidade de massa (d) e teor de ar incorporado das argamassas (A)

Traço	d (g/cm ³)	DP (g/cm ³)	A(%)	DP (%)
Referência	2,03		5	
T-5%	1,92	0,17	9	4,79
T-15%	1,77		13	
T-30%	1,63		16	

Fonte: Próprio Autor

Observa-se na Tabela 4, 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 (Tabela 4) corroboram 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 mais densa a argamassa se encontra, maior a tendência a fechar os vazios e, com isso, diminuir 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, conforme demonstrado na caracterização dos dados, nos itens 3.1.2 e 3.1.3.

Os resultados apresentados (Tabela 4) 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.

4.1.2 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 ± 30 mm para a argamassa de referência e mantido fixa a relação água/cimento para as demais argamassas (com pó de borracha de pneu). A Tabela 5 apresenta os resultados desse ensaio para as misturas investigadas.

Tabela 5– Índice de consistência

Traço Analisado	Índice de consistência (mm)	DP (mm)
Referência	290	1,5
T-5%	290	
T-15%	290	
T-30%	287	

Fonte: Próprio autor

A Tabela 5 mostra que a argamassa com 30% de substituição em volume do agregado natural pelo pó de borracha foi o único traço a mostrar variação no índice de consistência, apresentando um decréscimo de 1% em relação aos demais.

Com base nos resultados é possível afirmar que o pó de borracha de pneu não promoveu grandes mudanças na consistência das argamassas, comportamento interessante no que tange a reologia de argamassas de revestimento.

4.1.3 Retenção de água

O ensaio de retenção de água, conforme a NBR 13277 (ABNT, 2005), resultou nos dados mostrados na Tabela 6.

Tabela 6– Retenção de água

Traço Analisado	Retenção de água (%)	DP (%)
Referência	89	
T-5%	93	22
T-15%	92	
T-30%	47	

Fonte: Próprio autor

As argamassas T-5% e T-15% apresentaram pequenos ganhos de retenção de água em relação à argamassa de referência (4% e 3 % respectivamente). Enquanto a argamassa com 30% de substituição parcial de areia natural por pó de borracha de pneu apresentou uma perda de água de 47% em relação a argamassa de referência, característica que a torna mais rígida que as demais, dificultando sua trabalhabilidade. O comportamento inusitado da argamassa T-30%, pode ter como premissa, que o aumento da borracha gere a dispersão da água pelas partículas, facilitando sua perda, visto que o ensaio de retenção é realizado por meio de uma sucção forçada mecanicamente.

Segundo CSTB (1993, apud Oliveira, 2017), apenas a argamassa com 30% de substituição de agregado apresentou uma retenção de água considerada indesejada para argamassas de revestimento.

O Traço de menor retenção de água, 30% de substituição, apresentou classificação U1 (Ra inferior a 79%), os traços de 5% e 15% de substituição do agregado miúdo foram ditos de classe U4 (Ra de 86% a 94%) e o traço de referência obteve classe U3 (Ra de 80% a 90%). As classificações das argamassas quanto suas porcentagens de retenção foram dadas conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005).

4.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido

As propriedades das argamassas no estado endurecido são apresentadas e discutidas nos itens 4.2.1 a 4.2.3.

4.2.1 Resistência à tração na flexão

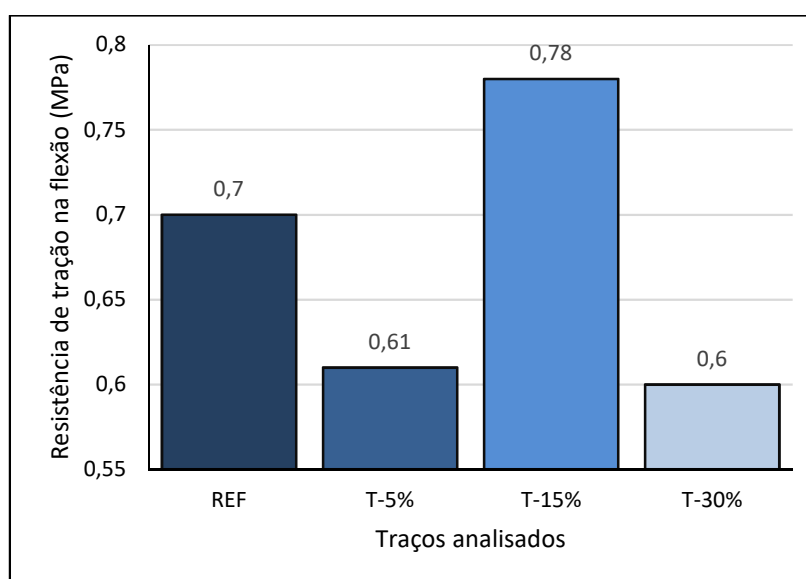
Para a execução do ensaio foi usada uma prensa modelo EMIC DL 20000 com capacidade de carga de 200 KN, mostrada na Figura 7. O Anexo E traz os resultados completos do ensaio. Os dados foram coletados aos 28 dias, idade exigida pela NBR 13279 (ABNT, 2005).

Figura 7 – EMIC DL 20000



Fonte: Próprio Autor

Gráfico 3 – Resistências de tração na flexão média



Fonte: Próprio Autor

No gráfico 3 mostra os resultados médios obtidos, é possível observar uma oscilação entre declínios e aumentos da resistência a tração na flexão, obtendo um desvio padrão de 0,09 MPa. A argamassa com 5% de pó de borracha de pneu apresentou perda de 13% de resistência em relação à de referência. A argamassa com 15% de substituição apresentou um ganho de 11%, e a argamassa com 30% de substituição obteve uma queda de 14% em relação ao traço de referência. 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. Entretanto, os resultados mostraram um aumento da resistência à tração para o traço T-15%, indicando um comportamento inesperado da mistura.

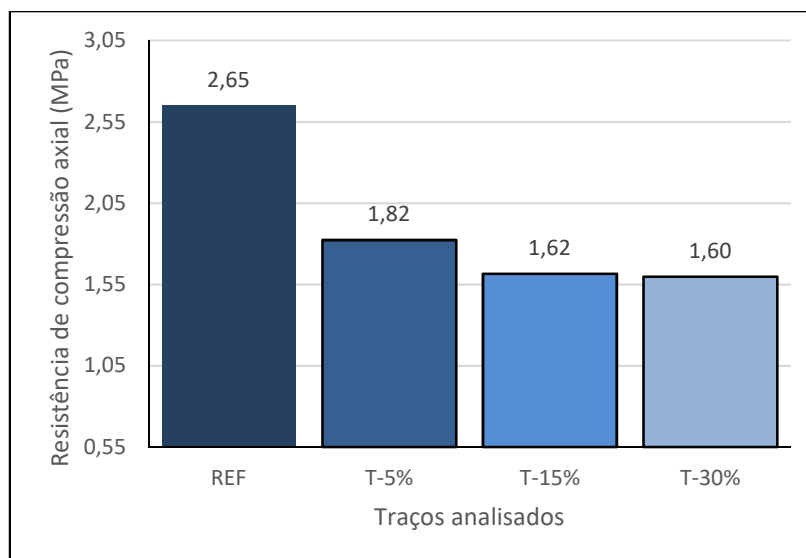
Pczieczek (2017) apresentou as mesmas características em seus estudos, obtendo um acréscimo de resistência à tração na flexão da porcentagem de 5% para 10% de substituição em massa de areia natural por pó de borracha na argamassa. Esse comportamento (Gráfico 3) inusitado é abordado pelo estudo de Benazzouk *et al.* (2003), o autor analisa o comportamento de compósitos com adição de borracha, obtendo como resultados o mesmo pico de resistência à tração nas porcentagens de 15% a 20% de adição de borracha. Segundo o autor, o 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 e conseqüentemente agregando resistência a ruptura da argamassa. Concluindo, o acréscimo de borracha à argamassa eleva a energia necessária para a fratura total, explicando a variação de resistência no traço de 15%.

Para a propriedade de resistência a tração na flexão, todas as argamassas (gráfico 3) se classificaram como classe R1 (R_f inferior a 1,6 MPa) conforme a NBR 13281 (ABNT, 2005).

4.2.2 Resistência à compressão axial

Para este ensaio, utilizou-se o mesmo equipamento (Figura 7) empregado para determinar a resistência a tração na flexão, os resultados obtidos podem ser consultados no Anexo F. O Gráfico 4 mostra as resistências médias à compressão axial de todas as argamassas estudadas.

Gráfico 4 – Resistências médias de compressão axial



Fonte: Próprio Autor

O Gráfico 4 apresentou um desvio padrão amostral de 0,50 MPa. 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. Os traços de argamassa, T-5%, T-15% e T-30%, mostraram quedas de resistência à compressão axial em relação ao traço referência de 31,32%, 38,87% e 39,62%, respectivamente.

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.

A NBR 13281 (ABNT, 2005), classifica os traços estudados (tabela 3) como argamassas de classe P1 (R_c inferior a 2,1 MPa). As argamassas estudadas por Canova, Bergamasco e Neto (2015) também apresentaram a mesma classificação.

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 (A10), e a outra após os 90 minutos de ensaio (A90). As amostras foram seladas em suas laterais evitando perda de água para o ambiente. Nas Tabelas 7 e 8 são apresentados os dados de absorção por capilaridade e os coeficientes de capilaridade dos traços investigados, respectivamente. As Anexos C e D mostram os resultados completos obtidos pelo ensaio. Por fim, o Gráfico 5 faz um fechamento desse tópico, apresentando um resumo das propriedades estudadas.

Tabela 7 – Absorção de água por capilaridade aos 10 minutos e aos 90 minutos

Traço	A10 (g/cm ²)	DP (g/cm ²)	A90 (g/cm ²)	DP (g/cm ²)
Referência	0,59		1,63	
T-5%	0,55	0,15	1,38	0,53
T-15%	0,34		0,77	
T-30%	0,28		0,48	

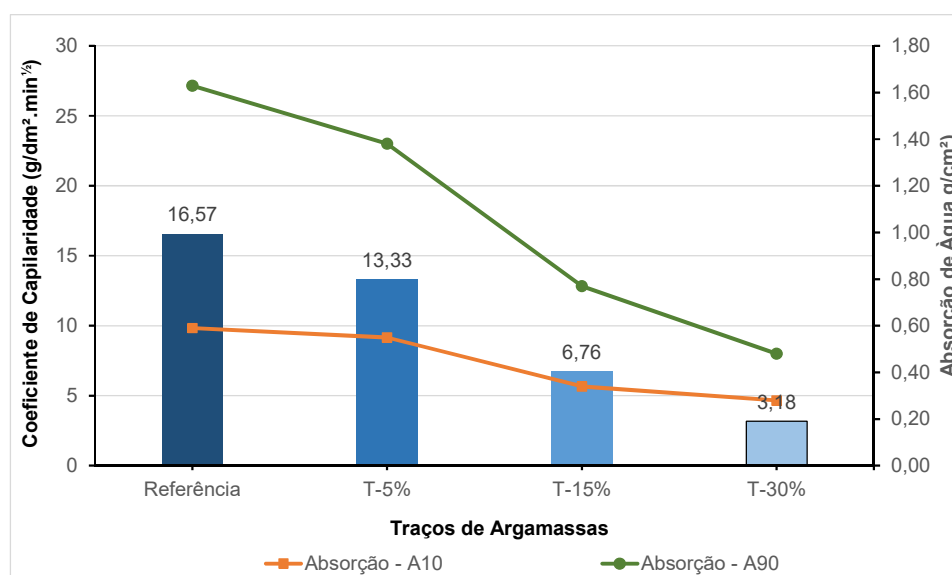
Fonte: Próprio Autor

Tabela 8 – Coeficiente de capilaridade

Traço Analisado	C (g/dm ² .min ^{1/2})	DP (g/dm ² .min ^{1/2})
Referência	16,57	
T-5%	13,33	6,09
T-15%	6,76	
T-30%	3,18	

Fonte: Próprio Autor

Gráfico 5 –Absorção de água e Coeficiente de capilaridade dos traços investigados



Fonte: Próprio Autor

É possível observar, através das Tabelas 7 e 8 e do Gráfico 5 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.

A absorção por capilaridade apresentou uma queda gradativa conforme o aumento da porcentagem de pó de borracha de pneu. Todos os traços mostraram resultados inferiores ao traço de referência, chegando a uma perda de 53% aos 10 minutos e 70% aos 90 minutos, para a argamassa com maior substituição de agregado natural por pó de borracha.

Segundo CSTB (1993, apud Oliveira, 2017), a margem do coeficiente de capilaridade ideal para argamassas de revestimento são valores inferiores à 4 g/dm².min^{1/2}, que conforme mostrado na Tabela 8, só é atendido pelo traço de 30%.

Segundo a NBR 13281 (2005), de acordo com os coeficientes de capilaridade apresentados, a argamassa de referência se classifica como C6 (C maior que 10,0 g/dm².min^{1/2}), juntamente com a argamassa com 5% de substituição, as demais são ditas de classe C4 (C entre 3,0 e 7,0 g/dm².min^{1/2}).

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. A massa específica da areia natural superou à do pó de borracha de pneu, explicando os resultados, que mostraram uma relação inversamente proporcional entre o acréscimo de borracha e a densidade de massa. Ainda 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, não acarretou mudanças significativas, uma vez que foi mantido o limite de controle estabelecido (260 ± 30 mm). As misturas apresentaram um aumento da retenção de água com o aumento do teor de borracha. A exceção foi observada para o traço T-30%, que mostrou perda de água de 47% em relação a argamassa de referência, e foi a única mistura considerada inadequada para fins de revestimento pelo CSTB (1993, apud Oliveira, 2017).

As argamassas no estado endurecido apresentaram resultados esperados quanto a resistência à compressão axial. Foi observado uma tendência de redução dessa propriedade com o acréscimo do teor de borracha nas misturas. Acredita-se que estes resultados são decorrentes das propriedades mecânicas da borracha. As argamassas com maior porcentagem de pó de borracha também apresentaram redução da absorção e do coeficiente de capilaridade o que seria uma vantagem para uso em argamassas de revestimento. A análise no estado endurecido da resistência a tração na flexão mostrou oscilações assim como na pesquisa de Benazzouk *et al.* (2003).

As argamassas com menores porcentagens de substituição, T-5% e T-15% apresentaram resultados melhores aos obtidos pelo traço T-30%, que apresentou grande perda de retenção em relação a argamassa de referência, aumentando sua probabilidade de fissuração.

Diante dos resultados obtidos nesta pesquisa é possível afirmar a viabilidade técnica do acréscimo de borracha - em pequenos teores - para argamassas de revestimento. Apesar dos baixos valores de resistências mecânicas, a mistura traz melhoras no manuseio e absorção da argamassa, além de ser uma alternativa para reuso de pneus inservíveis.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Como sugestões para realização de trabalhos futuros propõem-se:

- Realizar a mesma pesquisa utilizando outros teores de substituição da areia natural por pó de borracha;
- Analisar a influência de diferentes granulometrias de pó de borracha na argamassa de revestimento;
- Estudar o desempenho térmico e acústico de argamassas de revestimento com diferentes teores de pó de borracha;
- Fazer estudos quanto à toxicidade e flamabilidade das argamassas com pó de borracha de pneus reciclados.

REFERÊNCIAS

ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de revestimentos de argamassa**. 200-. Disponível em:

<<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

ANIP Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos. **Dados estatísticos sobre a iniciativa Reciclanip**. Disponível em: <<http://www.reciclanip.com.br>>. Acesso: 15 mai. 2018.

ABRECON Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **Dados da construção civil e a formação de resíduos**. Disponível em: <<http://www.abrecon.org.br>>. Acesso: 28 mai. 2018.

ARAÚJO JR., José Mendes de. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 199 f. Dissertação (Mestrado em estruturas e construção civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

ASOCIACIÓN MERCOSUR DE NORMALIZACIÓN. **NM 52**: Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. São Paulo, 2002.

_____. **NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. São Paulo, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – requisitos técnicos e verificação. Parte 1: peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro 2001.

_____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro 2006

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

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **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.

_____. **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.

_____. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15258:** Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **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.

_____. **NBR 15839:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *squeeze-flow*. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 16541:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. **Projeto e execução de revestimento de argamassa**. 4ª ed. São Paulo: O nome da rosa editora Ltda, 2008.

BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BARROCA, Paula Alexandra Gil. **Comportamento reológico e mecânico de argamassas com agregados leves**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). Covilhã – POR: Universidade Beira Interior, 2013.

BASTOS, Pedro Kopschitz Xavier; NAKAKURA, Elza Hissae; e CINCOTTO, Maria Alba. **Comparação da retração de argamassas industrializadas e mistas de revestimento nos estados fresco e endurecido**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** Florianópolis, UFPR, 2005. Disponível em: <https://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/c/ca/TC034_Artigo_Retração.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2018.

BAUER, Elton. **Materiais de Construção**. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

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.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 416, de 30 de setembro de 2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2009.

BORGES, Leonardo Araujo. **Revestimento em argamassa: Solução econômica para uma obra mais sustentável**. Belo Horizonte: UFMG, 2012.

CANOVA, José Aparecido; BERGAMASCO, Rosângela; e NETO, Generoso de Angelis. Pó de borracha de pneus Inservíveis em argamassa de revestimento. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil (REEC)**, Goiânia, vol. 10, nº 3, p. 41-53, nov. 2015.

CARASEK, Helena. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2007. p. 863-904.

CARDOSO, Alceu Aparecido; CALLEJAS, Ivan Julio Apolonio; e DUARTE, Luciane Cleonice. **Argamassas produzidas a partir de materiais não convencionais: uma revisão sistemática**. In: ENCONTRO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL, 4., 2016, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Cuiabá, UFMT, 2016. Disponível em: <<http://eventosacademicos.ufmt.br/index.php/eeee/eeee2016/paper/viewFile/629/237>>. Acesso em: 30 mai. 2018

CEOTTO, Luiz Henrique; BADUK, Ragueb C.; e NAKAKURA, Elza Hissae. **Revestimentos de Argamassas: boas práticas em projeto, execução e avaliação**. Série Recomendações Técnicas Habitaré – Vol. 1. Porto Alegre: Prolivros, 2005.

DUÓ, Danielli. **Estudo da aderência e da absorção de água em argamassas de revestimento com agregados reciclados de PET em substratos de blocos cerâmicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (em Engenharia Civil). Alegrete: Universidade Federal do pampa, 2017.

FERREIRA, U. C. *et al.* **Estudo da viabilidade mecânica da substituição parcial do agregado miúdo natural pela borracha de pneu moído para produção de matreizes de cimento portland**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais eletrônicos...** Bento Gonçalves, IBRACON, 2017.

FRANCISCON, Marcelo. **Tecnologia da argamassa**. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba, 10 dez. 2007.

JÚNIOR, F. A. da Silva e MARTINELLI, A. E. **Análise das propriedades do agregado miúdo: resíduo de borracha de pneu para compósitos cimentícios**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 21., 2014, Cuiabá. **Anais eletrônicos...** Cuiabá, CBECIMAT, 2014.

LAGARINHOS, Carlos Alberto Ferreira. **Reciclagem de pneus: Análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa**. 293 f. Tese (Doutorado em

Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

LEMOS, Ricardo Araújo. **Técnicas de revestimentos em argamassa projetada**. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

MASSOLLA, Daniel Augusto Oliveira *et al.* **Estudo do uso de resíduos de borracha proveniente da receuchutagem 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: <http://www.infohab.org.br/entac/entac2012_artigos.html>. Acesso em: 26 mai. 2018.

MENEGUINI, Eduardo César Antonelli. **Comportamento de argamassas com emprego de pó de borracha**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

OLIVEIRA, Valéria Costa de. **Estudo comportamental da formulação, dos requisitos, e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção civil). Universidade de Brasília. Brasília, 2017.

OLIVEIRA, Luiz António Pereira de; ALVES, Paula C. P.; e DIAS, Sérgio M. M.. **Desempenho de argamassas reforçadas com fibras acrílicas**. Artigo (Engenharia Civil). Covilhã – POR: Universidade Beira Interior, 2010.

PCZIECZEK, Adriane. **Análise das propriedades físicas e mecânicas de argamassa para revestimento utilizando cinza volante e resíduos de borracha de pneus inservíveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2017.

PEREIRA, Claudio Henrique de Almeida Feitosa. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. 2007. 195 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) Brasília: Universidade de Brasília, 2007.

PEREIRA, Luiz António P.; SANTOS, Pedro M. S.. **Resíduos reciclados como componentes de argamassas**. Artigo (Engenharia Civil). Covilhã – POR: Universidade Beira Interior, 2010.

PETRUCCI, Eládio G. R. **Materiais de construção**. 12ª ed. São Paulo, globo, 2003.

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. **Anais eletrônicos**... Fortaleza, UFC, 2013. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/532>>. Acesso em: 26 mai. 2018.

RECENA, Fernando Antonio Piazza. **Conhecendo argamassa**. 2ª ed. Porto Alegre, editora universitária da PUCRS, 2012.

SANTOS, Jaqueline Lima dos; ANDREGHETTO, Dionatas Hoffmann. **Análise das características do concreto com adição de fibras de borracha**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais eletrônicos...** Bento Gonçalves, IBRACON, 2017.

SCHIMELFENIG, Beatriz *et al.* **Estudo da utilização de agregado reciclado de borracha de pneus (ARBP) como substituição da areia natural em concretos convencionais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais eletrônicos...** Bento Gonçalves, IBRACON, 2017.

SILVA, Arthur Édico Matias da. **Tecnologia do pneu, fabricação, dimensionamento e aplicação**. Trabalho de Conclusão de Curso (em Engenharia Mecânica). Rio Verde: Universidade de Rio Verde, 2017.

SILVEIRA, Michael Douglas *et al.* **Análise da resistência à tração por compressão e compressão axial na produção de concreto convencional com substituição do agregado miúdo por borracha em pó**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 59., 2017, Bento Gonçalves. **Anais eletrônicos...** Bento Gonçalves, IBRACON, 2017.

SOUSA, Armindo José Coelho de. **Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto. Porto, 2010.

SOUSA, Armindo José Coelho de. **Aplicação de argamassas leves de reboco e assentamento em alvenarias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto. Porto, 2010.

ANEXOS

Anexo A – Resultados Completos – Densidade de massa das argamassas

Tabela 9 – Densidade de massa das argamassas

Traço	Recipiente cheio (g)	Recipiente Vazio (g)	Volume recipiente (cm ³)	Densidade de massa (g/cm ³)
Referência	1181,40	410,60	380,00	2,03
T-5%	1139,70	410,60	380,00	1,92
T-15%	1182,80	410,60	380,00	1,77
T30%	1028,8	410,60	380,00	1,63

Fonte: Próprio autor

Anexo B – Resultados Completos – Teor de Ar Incorporado

Tabela 10 – Densidade de massa das argamassas

Traço	Densidade de Massa (g/cm ³)	Densidade de Massa Teórica sem Vazios (g)	Teor de Ar Incorporado (%)
Referência	2,03	2,14	5,00
T-5%	1,92	2,11	9,00
T-15%	1,77	2,04	13,00
T30%	1,63	1,93	16,00

Fonte: Próprio autor

Anexo C – Resultados Completos – Absorção por Capilaridade

Tabela 11 – Absorção por Capilaridade

Absorção por Capilaridade (g/cm ²)								
Corpo de Prova	Referência		T-5%		T-15%		T-30%	
	A10min	A90min	A10min	A90min	A10min	A90min	A10min	A90min
1	0,60	1,71	0,60	1,48	0,33	0,65	0,34	0,57
2	0,53	1,53	0,52	1,38	0,37	0,83	0,30	0,49
3	0,63	1,67	0,46	1,16	0,37	0,83	0,24	0,43
4	0,66	1,69	0,57	1,45	0,33	0,82	0,28	0,54
5	0,59	1,62	0,51	1,26	0,32	0,69	0,27	0,43
6	0,54	1,56	0,62	1,55	-	-	0,26	0,42
Média	0,59	1,63	0,55	1,38	0,34	0,77	0,28	0,48

Fonte: Próprio autor

Anexo D – Resultados Completos – Coeficiente de Capilaridade

Tabela 12 – Coeficiente de Capilaridade

Coeficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2})				
Corpo de Prova	Referência	T-5%	T-15%	T-30%
1	17,70	14,10	5,10	3,80
2	16,00	13,60	7,40	3,00
3	16,70	11,30	7,40	3,00
4	16,40	14,10	7,90	4,20
5	16,40	12,00	6,00	2,50
6	16,20	14,90	-	2,60
Média	16,57	13,33	6,76	3,18

Fonte: Próprio autor

Anexo E – Resultados Completos – Retenção de Água

Tabela 13 – Retenção de Água

Dados	Referência	T-5%	T-15%	T-30%
Massa do conjunto (g)	2506,00	2284,40	2285,60	2056,80
Massa do conjunto após sucção (g)	2485,30	2272,50	2271,70	1971,70
Massa do conjunto vazio (g)	994,80	988,90	1001,60	985,40
Fator água por argamassa	0,13	0,13	0,14	0,15
Soma das massas dos componentes (g)	5630,68	5469,90	5148,34	4666,01
Massa de água somada a mistura (g)	819,91	819,91	819,91	819,91
Retenção de água (%)	89,22	92,95	92,12	46,86

Fonte: Próprio autor

Anexo F – Resultados Completos – Tração na Flexão

Tabela 14 – Tração na Flexão

Corpo de Prova	Resistência à Tração na Flexão (MPa)			
	Referência	T-5%	T-15%	T-30%
1	0,59	0,67	0,76	0,57
2	0,69	0,47	0,73	0,69
3	0,85	0,70	0,81	0,70
4	0,65	0,64	0,71	0,49
5	0,76	0,55	0,90	0,37
6	0,64	0,60	-	0,77
Média	0,70	0,61	0,78	0,60

Fonte: Próprio autor

Anexo F – Resultados Completos – Compressão Axial

Tabela 15 – Compressão Axial

Corpo de Prova	Resistência à Compressão Axial (MPa)			
	Referência	T-5%	T-15%	T-30%
1	3,31	1,85	1,35	1,14
2	2,73	1,52	1,86	1,34
3	3,06	1,77	1,76	1,37
4	2,83	1,53	1,29	1,73
5	2,97	2,46	2,15	1,31
6	2,26	1,85	1,37	1,67
7	2,06	1,78	1,70	1,94
8	2,33	1,53	1,45	1,61
9	2,58	2,35	1,27	1,58
10	2,72	1,86	2,02	1,77
11	2,78	1,86	1,66	1,78
12	2,21	1,51	1,51	1,93
Média	2,65	1,82	1,62	1,60

Fonte: Próprio autor