

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

BRUNA DE MOURA MACHADO

**INFLUÊNCIA DE ADITIVO INCORPORADOR DE AR EM ARGAMASSAS MISTAS
COM AGREGADO RECICLADO DE PET**

**Alegrete
2019**

BRUNA DE MOURA MACHADO

**INFLUÊNCIA DE ADITIVO INCORPORADOR DE AR EM ARGAMASSAS MISTAS
COM AGREGADO RECICLADO DE PET**

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.

Orientadora: Dra. Simone Dornelles Venquiaruto

Coorientadora: Dra. Fernanda Bianchi Pereira da Costa

**Alegrete
2019**

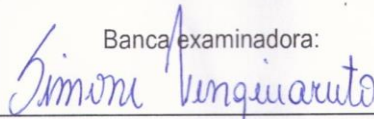
BRUNA DE MOURA MACHADO

**INFLUÊNCIA DE ADITIVO INCORPORADOR DE AR EM ARGAMASSAS MISTAS
COM AGREGADO RECICLADO DE PET**

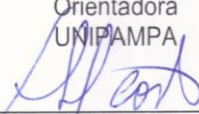
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 29, novembro de 2019.

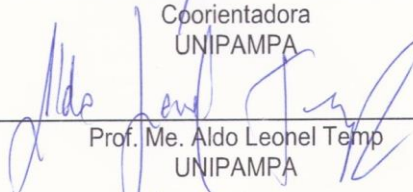
Banca examinadora:



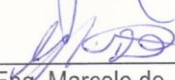
Prof. Dra. Simone Dornelles Venquiaruto
Orientadora
UNIPAMPA



Prof. Dra. Fernanda Bianchi Pereira da Costa
Coorientadora
UNIPAMPA



Prof. Me. Aldo Leonel Temp
UNIPAMPA



Msc. Eng. Marcelo de Jesus Dias de Oliveira
UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha família,
meus pais Jair e Silvania e a minha irmã
Sabrina.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e essencialmente a minha família, meus pais, minha irmã e a Deus, pois sem eles eu nada seria.

Um agradecimento especial àqueles que já se foram, meu padrinho Jairo, minhas avós Aurora e Catarina, meu avô Valentin e Dona Suzana, pois tenho a certeza de que ainda me acompanham e torcem por mim.

A minha orientadora Simone, que foi minha professora desde o início da graduação e sempre se mostrou ser, além de uma profissional excepcional, uma pessoa iluminada que me inspira e hoje não mediu esforços para me auxiliar neste trabalho.

Aos professores Aldo Temp e Fernanda Bianchi, aos técnicos Marcelo, Raquel e Luizele, os amigos e colegas Andressa, Cibeli, Danielli, Diovana, Isadora e Maiquel, não tenho palavras para definir o quanto eu sou grata a vocês.

Aos meus melhores amigos de infância Alan, Fabrício, Jéssica e Suellen que mesmo longe sempre compreenderam a minha ausência e me apoiaram nessa trajetória.

As minhas amigas/irmãs mais que especiais Bibiana, Fernanda, Letícia e Karima que estão ao meu lado desde o ensino médio.

A minha família alegretense Denize, Liana, Luciano e Mateus, por sempre estenderem a mão quando eu precisei e nunca me abandonar.

Agradeço a cada amizade que fiz durante essa caminhada, as experiências compartilhadas, os momentos de alegria, o apoio e os conselhos em cada momento difícil e os valiosos ensinamentos que vou levar comigo para sempre.

Aos meus colegas PETianos e ao tutor Marco Antônio Durlo Tier por me mostrarem o quão importante é nos preocuparmos com a formação complementar durante a graduação para sermos profissionais humanizados.

Aos meus chefes e colegas de estágio pelos sábios ensinamentos Eng. Alex Itzac, Arquiteto Eduardo Marty, Eng. Gonçalo, Eng. Gregori Avrella, Daniela e Matias.

As empresas doadoras do aditivo e do agregado reciclado de PET, Builder e PETCEU, respectivamente.

Obrigada a todas as pessoas que de alguma forma me apoiaram nessa etapa, vocês foram essenciais.

“Que maravilha é ninguém precisar esperar
um único momento para mudar o mundo”.

Anne Frank

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência de aditivo incorporador de ar (AIA) no comportamento de argamassas mistas com agregado reciclado de PET. Com base nos estudos de Duó (2017), foram selecionados três traços de argamassas distintos com substituição parcial do agregado miúdo por agregado reciclado de PET, esta substituição ocorreu em volume, nas porcentagens 0% (traço referência), 5% e 15%. O aditivo foi introduzido nas misturas nas proporções de 0% (traço referência), 0,05%, 0,10% e 0,15%, em relação à massa do cimento. Para este estudo, realizou-se a caracterização das argamassas quanto às propriedades reológicas no estado fresco (índice de consistência, teor de ar incorporado e retenção de água), propriedades físicas (densidade de massa), durabilidade (absorção de água por capilaridade e absorção de água pelo método do cachimbo) e mecânicas (resistência à tração na flexão, resistência à compressão axial e resistência potencial de aderência à tração). O controle das propriedades no estado endurecido foi obtido na idade de vinte e oito dias. O efeito do AIA foi positivo no que diz respeito às propriedades físicas e reológicas das argamassas, pois a sua utilização resultou no aumento do teor de ar incorporado e consequentemente a redução da densidade de massa das misturas, tanto no estado fresco quanto endurecido, ainda que estas características provoquem a redução das propriedades mecânicas. Os resultados do ensaio de aderência à tração apresentaram pouca variabilidade entre os traços analisados, no entanto todas as amostras obtiveram resistência média dentro dos padrões normativos. Quanto à durabilidade, a absorção de água foi reduzida para os traços sem adição de PET em contraste ao aumento da aplicação do aditivo, no entanto a introdução de aditivo deve ocorrer nas porcentagens de 0,05% para os traços com 5% de substituição de PET e de 0,10% e 0,15% para os traços com 15% de substituição. Portanto, é viável a aplicação do AIA em argamassas desde que ocorra nas porcentagens ideais para o desempenho satisfatório de suas funções, além disso, o aditivo deve apresentar compatibilidade com os demais componentes da mistura.

Palavras-Chave: argamassa, aditivo, agregado reciclado de PET, propriedades.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate the influence of air incorporating additive (EIA) on the behavior of mixed mortars with recycled PET aggregate. Based on the studies of Duó (2017), three distinct mixture of mortars with partial replacement were selected: recycled PET aggregate, this substitution occurred percentages 0% (reference), 5% and 15%. The additive was introduced into the mixtures in proportions of 0% (reference), 0.05%, 0.10% and 0.15%, relative to the cement mass. For this paper, the characterization of mortars was performed based on fresh rheological properties (consistency index, incorporated air content and water retention), physical properties (mass density), durability (capillarity water absorption and pipe water absorption) and mechanical properties (tensile stress, compressive stress and potential tensile bond strength). The control of properties in the hardened state was obtained at the age of twenty-eight days. The effect of EIA was positive, with regard to the physical and rheological properties of mortars, as its use resulted in an increase in the incorporated air content and consequently a reduction in the mass density of the mixtures in both fresh and hardened characteristics cause the reduction of mechanical properties. The results of tensile adhesion testing showed little variability between the analyzed features, however all samples obtained mean strength within the regulatory standards. The durability, the water absorption was reduced to traces without the addition of PET in contrast to the increase of the application of the additive, however, the additive introduction occurs in percentages of 0.05% for mixtures with 5% substitution PET and 0.10% and 0.15% for mixtures with 15% substitution. Therefore, the application of EIA in mortars is feasible as long as it occurs in the appropriate percentages for the satisfactory performance of its functions, and the additive must be compatible with the other components of the mixture.

Keywords: mortar, additive, recycled PET aggregate, properties.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/C – Água/Cimento

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

AIA – Aditivo Incorporador de Ar

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem

CP – Cimento Portland

CP IV – Cimento Portland Pozolânico

CSTC - Centre Scientifique et Technique de La Construction

FGV – Fundação Getúlio Vargas

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – Norma Brasileira

PAIC – Pesquisa Anual da Indústria da Construção

PET – Politereftalato de Etileno

PIB – Produto Interno Bruto

RDM – Revestimento Decorativo Monocamada

RILEM – Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches

RPMG – Resíduo de Pó de Mármore e Granito

RSU – Resíduo Sólido Urbano

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Propriedades das argamassas..... | 29 |
| Figura 2 – Efeito da presença de bolhas de ar nas argamassas..... | 39 |
| Figura 3 – Esquema do Programa Experimental..... | 49 |
| Figura 4 – Agregados miúdos utilizados na produção das argamassas | 51 |
| Figura 5 – Nomenclatura e descrição dos traços estudados..... | 59 |
| Figura 6 – Etapas de preparo da mistura das argamassas..... | 61 |
| Figura 7 – Corpos de prova prismáticos ensaiados no estado endurecido..... | 72 |
| Figura 8 – Execução do ensaio de absorção de água por capilaridade pelo método do cachimbo | 75 |
| Figura 9 – Representação esquemática do ensaio de tração na flexão | 76 |
| Figura 10 – Representação dos dispositivos utilizados durante os ensaios mecânicos: (A) Ensaio de tração na flexão; (B) Ensaio de compressão axial..... | 77 |
| Figura 11 – Representação esquemática do ensaio de resistência à compressão axial..... | 77 |
| Figura 12 – Amostras ensaiadas no estado endurecido: (A) e (C) Ensaio de resistência à tração na flexão; (B) e (D) Ensaio de resistência à compressão axial | 78 |
| Figura 13 – Representação esquemática das formas de ruptura do ensaio de aderência à tração..... | 81 |
| Figura 14 – Determinação do índice de consistência das argamassas..... | 83 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 1 – Curva granulométrica das amostras de agregado miúdo natural... .. | 53 |
| Gráfico 2 – Curva granulométrica das amostras de agregado reciclado de PET..... | 54 |
| Gráfico 3 – Curva granulométrica da areia natural com 5% de substituição de areia de PET..... | 55 |
| Gráfico 4 – Curva granulométrica da areia natural com 15% de substituição de areia de PET | 56 |
| Gráfico 5 – Resultados do índice de consistência das argamassas..... | 83 |
| Gráfico 6 – Resultados da densidade de massa no estado fresco e endurecido..... | 86 |
| Gráfico 7 – Interação dos resultados de densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco das argamassas..... | 87 |
| Gráfico 8 – Comportamento dos resultados de retenção de água das argamassas em função da umidade relativa do ar..... | 89 |
| Gráfico 9 – Absorção de água por capilaridade média das argamassas | 91 |
| Gráfico 10 – Interação da absorção de água por capilaridade com o coeficiente de capilaridade médio das argamassas | 93 |
| Gráfico 11 – Tempo médio para absorção total de água das argamassas no ensaio do método do cachimbo | 95 |
| Gráfico 12 – Resultados médios de resistência à tração na flexão das argamassas..... | 97 |
| Gráfico 13 – Resultados médios de resistência à compressão axial das argamassas | 98 |
| Gráfico 14 – Resistência média de aderência à tração das argamassas..... | 101 |
| Gráfico 15 – Influência do teor de ar incorporado das argamassas na resistência média de aderência..... | 102 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Preparo dos corpos de prova prismáticos | 62 |
| Quadro 2 – Preparo do substrato padrão para ensaio de resistência potencial de aderência à tração..... | 64 |
| Quadro 3 – Etapas da execução do ensaio para determinação do índice de consistência..... | 66 |
| Quadro 4 – Etapas da execução do ensaio para determinação da densidade de massa no estado fresco | 68 |
| Quadro 5 – Etapas da execução do ensaio para determinação da retenção de água | 70 |
| Quadro 6 – Etapas da execução do ensaio de absorção de água por capilaridade | 73 |
| Quadro 7 – Etapas da execução do ensaio de resistência de aderência à tração..... | 80 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Tipos de argamassas de assentamento segundo NBR 13281 (ABNT, 2005) para densidade de massa no estado endurecido | 26 |
| Tabela 2 – Classificação das camadas do revestimento argamassado e suas respectivas funções..... | 27 |
| Tabela 3 – Classificação das argamassas de acordo com a NBR 13280 (ABNT, 2005) para densidade de massa no estado endurecido | 37 |
| Tabela 4 – Pesquisas realizadas em argamassas com aditivos incorporadores de ar | 41 |
| Tabela 4.1 – Pesquisas realizadas em argamassas com aditivos incorporadores de ar | 42 |
| Tabela 5 – Pesquisas realizadas em argamassas com agregado reciclado de PET | 44 |
| Tabela 5.1 – Pesquisas realizadas em argamassas com agregado reciclado de PET | 45 |
| Tabela 5.2 – Pesquisas realizadas em argamassas com agregado reciclado de PET | 46 |
| Tabela 6 – Pesquisas realizadas em concretos com agregado reciclado de PET..... | 46 |
| Tabela 6.1 – Pesquisas realizadas em concretos com agregado reciclado de PET..... | 47 |
| Tabela 7 – Exigências físico-químicas e mecânicas do cimento Portland CPIV 32 .. | 50 |
| Tabela 8 – Massa específica unitária e massa específica do agregado miúdo natural e agregado reciclado de PET | 57 |
| Tabela 9 – Dados técnicos do aditivo Plasmix M 313..... | 58 |
| Tabela 10 – Composição dos doze traços de argamassa desenvolvidos..... | 60 |
| Tabela 11 – Resultados do índice de consistência das argamassas | 82 |
| Tabela 12 – Resultados da densidade de massa no estado fresco e endurecido e teor de ar incorporado | 85 |
| Tabela 13 – Resultados do ensaio de retenção de água das argamassas | 88 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 14 – Resultados médios do ensaio de absorção por capilaridade | 90 |
| Tabela 15 – Coeficiente de capilaridade médio das argamassas | 92 |
| Tabela 16 – Resultados médios da absorção de água pelo método do cachimbo... | 94 |
| Tabela 17 – Resultados médios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial das argamassas | 96 |
| Tabela 18 – Formas de ruptura apresentadas pelos traços analisados | 99 |
| Tabela 19 – Resultados médios obtidos através do ensaio de resistência média de aderência à tração..... | 100 |
| Tabela 20 – Tabela 20 – Síntese dos resultados | 103 |
| Tabela 21 – Dados completos: Densidade de massa no estado fresco das argamassas..... | 115 |
| Tabela 22 – Dados completos: Teor de ar incorporado das argamassas | 115 |
| Tabela 23 – Dados completos: Retenção de água das argamassas | 116 |
| Tabela 24 – Dados completos: Densidade de massa no estado endurecido das argamassas..... | 117 |
| Tabela 25 – Dados completos: Registros de massa em gramas das amostras para determinação da absorção de água por capilaridade das argamassas | 118 |
| Tabela 26 – Dados completos: Absorção de água por capilaridade das argamassas | 119 |
| Tabela 27 – Dados completos: Coeficiente de capilaridade das argamassas..... | 120 |
| Tabela 28 – Dados completos: Absorção de água pelo método do cachimbo A..... | 121 |
| Tabela 29 – Dados completos: Absorção de água pelo método do cachimbo B..... | 122 |
| Tabela 30 – Dados completos: Resistência à tração na flexão | 123 |
| Tabela 31 – Dados completos: Resistência à compressão axial A | 124 |
| Tabela 32 – Dados completos: Resistência à compressão axial B | 125 |
| Tabela 33 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 0P – 0A..... | 126 |
| Tabela 34 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 0P – 0,05A..... | 127 |
| Tabela 35 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 0P – 0,10A..... | 128 |
| Tabela 36 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 0P – 0,15A..... | 129 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 37 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 5P – 0A..... | 130 |
| Tabela 38 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 5P – 0,05A..... | 131 |
| Tabela 39 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 5P – 0,10A..... | 132 |
| Tabela 40 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 5P – 0,15A..... | 133 |
| Tabela 41 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 15P – 0A..... | 134 |
| Tabela 42 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 15P – 0,05A..... | 135 |
| Tabela 43 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 15P – 0,10A..... | 136 |
| Tabela 44 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 15P – 0,15A..... | 137 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| AGRADECIMENTOS | 5 |
| RESUMO | 7 |
| 1 INTRODUÇÃO | 19 |
| 1.1 Objetivos | 21 |
| 1.1.1. Objetivo Geral | 21 |
| 1.1.2. Objetivos Específicos | 22 |
| 1.2 Justificativa | 22 |
| 1.3 Estrutura da Pesquisa | 24 |
| 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA | 25 |
| 2.1 Argamassas | 25 |
| 2.2 Classificação das argamassas | 25 |
| 2.2.1 Argamassa de assentamento | 26 |
| 2.2.2 Argamassa de revestimento | 26 |
| 2.3 Propriedades das argamassas | 28 |
| 2.3.1 Propriedades no estado fresco | 29 |
| 2.3.1.1 Trabalhabilidade | 29 |
| 2.3.1.2 Retenção de água | 30 |
| 2.3.1.3 Consistência e plasticidade | 31 |
| 2.3.1.4 Densidade de massa | 31 |
| 2.3.1.5 Adesão inicial | 31 |
| 2.3.1.6 Retração | 32 |
| 2.3.2 Propriedades no estado endurecido | 33 |
| 2.3.2.1 Aderência | 33 |
| 2.3.2.2 Durabilidade | 34 |
| 2.3.2.3 Resistência mecânica | 34 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.3.2.4 | Permeabilidade à água | 35 |
| 2.3.2.5 | Capacidade de absorver deformações | 36 |
| 2.3.2.6 | Densidade de massa no estado endurecido | 37 |
| 2.4 | Alteração de propriedades específicas de matrizes cimentícias pelo uso de aditivos incorporadores de ar | 37 |
| 2.4.1 | Argamassas com aditivos incorporadores de ar..... | 40 |
| 2.5 | Utilização de materiais alternativos em argamassas..... | 43 |
| 2.5.1 | Matrizes cimentícias com areia de PET | 43 |
| 3 | METODOLOGIA | 49 |
| 3.1 | Programa Experimental | 49 |
| 3.2 | Materiais..... | 50 |
| 3.2.1 | Cimento Portland..... | 50 |
| 3.2.2 | Cal Hidratada | 51 |
| 3.2.3 | Agregados..... | 51 |
| 3.2.3.1. | Caracterização dos agregados miúdos | 52 |
| 3.2.4 | Água..... | 57 |
| 3.2.5 | Aditivo Incorporador de Ar | 57 |
| 3.3 | Dosagem das argamassas | 58 |
| 3.3.1 | Preparo da mistura das argamassas | 61 |
| 3.3.2 | Moldagem e cura dos corpos de prova | 61 |
| 3.3.2.1 | Corpos de prova prismáticos | 62 |
| 3.3.2.2 | Substrato padrão | 63 |
| 3.4 | Ensaio de controle das propriedades no estado fresco..... | 65 |
| 3.4.1 | Índice de consistência | 65 |
| 3.4.2 | Densidade de massa e teor de ar incorporado | 66 |
| 3.4.3 | Retenção de água..... | 69 |
| 3.5 | Ensaio de controle das propriedades no estado endurecido | 71 |
| 3.5.1 | Densidade de massa | 71 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.5.2 | Absorção de água por capilaridade..... | 72 |
| 3.5.3 | Absorção de água pelo Método do Cachimbo..... | 75 |
| 3.5.4 | Resistência à tração na flexão..... | 76 |
| 3.4.5 | Resistência à compressão axial..... | 77 |
| 3.4.6 | Resistência potencial de aderência à tração..... | 79 |
| 4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS..... | 82 |
| 4.1 | Resultados do controle das propriedades..... | 82 |
| 4.1.1 | Índice de Consistência..... | 82 |
| 4.1.2 | Densidade de massa e teor de ar incorporado..... | 84 |
| 4.1.3 | Retenção de Água..... | 87 |
| 4.1.4 | Absorção de água por capilaridade..... | 90 |
| 4.1.5 | Absorção de água pelo método do cachimbo..... | 94 |
| 4.1.6 | Resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial..... | 96 |
| 4.1.7 | Resistência potencial de aderência à tração..... | 99 |
| 5 | SÍNTESE DOS RESULTADOS..... | 103 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 104 |
| 7 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 106 |
| | REFERÊNCIAS..... | 107 |
| | APÊNDICES..... | 115 |

1 INTRODUÇÃO

A construção civil está em constante desenvolvimento nos últimos anos, este setor é um dos principais contribuintes na economia brasileira, além disso, é também responsável pela redução dos indicadores sociais de desemprego (ALVES e DREUX, 2015).

A Pesquisa Anual da Indústria da Construção – PAIC¹ identifica anualmente as características estruturais da atividade de construção e de suas transformações no tempo, essa estatística é uma importante fonte a respeito do segmento empresarial da construção. Os resultados da última pesquisa realizada em 2016, mostra que são aproximadamente 70.000 empresas ativas no ramo da construção civil no Brasil.

Segundo o banco de dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC² a construção civil apresentou 61% de contribuição no PIB em 2017, além disso, a taxa de crescimento deste setor no 4º trimestre de 2018 posicionou-se em 3º lugar em relação a outros setores, perdendo apenas para agropecuária e a indústria. Ainda, o Sindicato da Indústria da Construção do Estado de São Paulo (SINDUSCON – SP)³ em parceria com a Fundação Getúlio Vargas (FGV) divulgou que o PIB da construção civil brasileira deverá crescer 2,0% em 2019, caracterizando o fim de um ciclo de cinco anos de queda deste índice.

Dados apresentados no Panorama dos Resíduos Sólidos de 2017 da ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais⁴ mostram que o Brasil apresenta desafios para garantir a gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos. A geração total de RSU (resíduo sólido urbano) cresceu cerca de 1% no período pesquisado, mesmo avanço observado no PIB, ou seja, o desenvolvimento econômico e industrial está alinhado ao aumento do volume de geração de resíduos.

Dentre os inúmeros resíduos gerados (papel, papelão, isopor, vidro e metal) o plástico comumente reciclado é o PET – poli (etileno tereftalato). Para o MMA –

¹ Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/>>. Acesso: 25 de maio de 2019.

² Banco de dados. Disponível em: <<http://www.cbicdados.com.br/home/>>. Acesso: 25 de maio de 2019.

³ Notícias de economia. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/assuntos/economia/>>. Acesso: 25 de maio de 2019.

⁴ Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso: 25 de maio de 2019.

Ministério do Meio Ambiente⁵ este material tem se destacado no setor da reciclagem e reutilização, visto que o mesmo é altamente utilizado em embalagens por sua durabilidade e baixo custo. De acordo com a CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem⁶, no ano de 2011 foram produzidas 514.000 toneladas de resina PET destinadas à fabricação de embalagens no Brasil, o que fortalece a necessidade do desenvolvimento de tecnologias que proporcionem um novo destino a este resíduo.

Para a ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET⁷ nenhuma atividade pode ser próspera sem que todas as variáveis que incidem sobre seus resultados sejam contempladas, a reciclagem de PET colabora não somente para preservação ambiental, mas também abrange outros dois pilares do desenvolvimento sustentável, que são os benefícios sociais e econômicos. Apesar da conscientização ecológica e o desenvolvimento sustentável serem alvos de discussões, ainda não existe uma política adequada sobre reciclagem, reutilização ou reaproveitamento de materiais (LOURENCI, 2003).

A indústria da construção civil é considerada um dos maiores contribuintes à geração de resíduos e, além disso, consome uma quantidade excessiva de recursos naturais e, em virtude disso, há um crescente interesse nos estudos para substituir a utilização de fontes não renováveis aplicadas nesse setor (COELHO, 2005; JARDIM, 2016). De acordo com Freire e Beraldo (2012), este setor é um dos segmentos que apresenta maior capacidade de abranger tecnologias e novos materiais, produzidos e desenvolvidos a partir da utilização de resíduos, desde que estes estudos sejam devidamente elaborados e avaliados antes de serem difundidos.

O consumo de agregados naturais, empregados tradicionalmente na construção civil para produção de concretos e argamassas é de 220 milhões de toneladas, sendo a construção civil responsável pelo consumo de cerca de 2/3 da madeira natural extraída (PIETROBELLI, 2010). O material de construção mais utilizado no mundo é o concreto e, por este motivo, o estudo de seus componentes, processos de fabricação e utilização devem ser valorizados (PETRUCCI, 1998).

⁵ Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/informma/item/9411-residuos-de-plastico,-papel,-papelao,-papel-metalizado,-vidro-e-metal>>. Acesso: 08 de junho de 2019.

⁶ O mercado para reciclagem. Disponível em: < <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/8/pet>>. Acesso: 08 de junho de 2019.

⁷ Benefícios da reciclagem de PET. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/>>. Acesso: 25 de maio de 2019.

Dessa maneira, como forma de viabilizar a sustentabilidade uma das alternativas para reforço de compósitos que tem apresentado destaque são as adições de materiais que ao serem incorporados em matrizes cimentícias proporcionam melhorias nas propriedades dos elementos, tornando-os mais eficientes e econômicos. São exemplos dessas adições: fibras minerais (sisal, curauá, algodão, malva, banana, cocô, juta, bambu, entre outras), entulho de construção e demolição, areia de vidro e de PET, cinzas volantes vegetais (casca de arroz e cana de açúcar), pó de borracha de pneu, resíduo de pó de mármore e granito (RPMG), entre outros (GONÇALVES *et al.*, 2002; MENEGUINI, 2003; PIMENTEL, 2004; PORTO e SILVA, 2008; FREIRE e BERARDO, 2012; LUDWIG, 2014; MENDONÇA *et al.*, 2017).

Dentro desse contexto, estão sendo empregadas no mercado da construção civil diversas tecnologias construtivas, dentre elas, a adição de polímeros às argamassas e concretos. Com isso, as embalagens pós-consumo de PET (polietileno tereftalato) vem sendo aproveitadas nas pesquisas como material alternativo, em virtude do descaso da população quanto ao descarte deste material e o elevado percentual de contribuição deste resíduo na composição do volume de lixo urbano no meio ambiente, além de atuar como meio de redução do consumo de recurso naturais provindos de fontes não renováveis (LOURENCI, 2003; CANELLAS, 2005; COELHO, 2005; PIETROBELLI, 2010; MELLO, 2011; SANTOS, 2012).

Diante do exposto, esta pesquisa objetiva reproduzir as argamassas desenvolvidas por Duó (2017) com resíduo reciclado de PET e incorporar aditivo químico no traço, a fim de avaliar se esta composição irá proporcionar benefícios às propriedades do estado fresco e endurecido de argamassas mistas.

1.1 Objetivos

O objetivo geral e os específicos estão apresentados nos itens 1.1.1 e 1.1.2, respectivamente.

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar a influencia de diferentes teores de aditivo incorporador de ar nas propriedades reológicas, físicas e mecânica nos estados fresco e endurecido de

argamassas mistas substituição parcial de agregado miúdo por agregado reciclado de Politereftalato de Etileno (PET).

1.1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência de aditivo incorporador de ar nas propriedades de argamassas mistas em seu estado fresco, a partir dos ensaios de índice de consistência, densidade de massa, teor ar incorporado e retenção de água;
- Determinar a densidade de massa aparente de argamassas mistas no estado endurecido;
- Avaliar a durabilidade de argamassas mistas através dos ensaios de absorção de água por capilaridade e absorção pelo método do cachimbo no estado endurecido;
- Analisar as propriedades mecânicas (resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial) de argamassas mistas com substituição parcial de agregado reciclado de PET e aditivo incorporador de ar;
- Verificar a aderência das argamassas através do ensaio de resistência potencial de aderência à tração das argamassas;
- Realizar um comparativo entre argamassas convencionais e argamassas com substituição parcial de agregado reciclado de PET com e sem aditivo incorporador de ar.

1.2 Justificativa

Os materiais empregados na construção civil, além de serem grandes consumidores de fontes naturais não renováveis, em geral, apresentam elevado custo e consumo de energia durante seu processo de fabricação. Outro fator importante é a contribuição desse setor para os elevados índices de poluição ambiental ao longo dos anos devido ao crescimento populacional e industrial.

Dentro desse contexto, torna-se indispensável vincular a sustentabilidade com um dos setores mais contribuintes no volume de RSU gerado, através do desenvolvimento de estudos que reutilizem como materiais alternativos aquilo que normalmente é descartado de forma errônea no meio ambiente. Um exemplo desse material é o Politereftalato de Etileno (PET), que vem sendo pesquisado por alguns autores (Canellas (2005), Santos (2012), Rosa (2017), Guerra *et al.* (2018), entre

outros) e tem apresentado resultados promissores como substituto parcial do agregado natural em matrizes cimentícias.

O emprego do PET como agregado reciclado em matrizes cimentícias é uma proposta de solução inovadora, que além de atuar como um reforço das propriedades pode minimizar o impacto ambiental gerado pelo uso de recursos naturais na construção civil, alinhado com a possibilidade de proporcionar avanços tecnológicos que contribuem para o desenvolvimento sustentável.

Além disso, o uso do PET como agregado miúdo poderá ser uma alternativa importante para cidades em que há escassez desse recurso natural, ou quando o seu transporte se tornar inviável economicamente. Alguns autores (Pietrobelli (2010), Jardim (2016), Fernandes (2017), Moura (2017), entre outros) têm obtido em suas pesquisas resultados promissores nas propriedades de argamassas e concretos, principalmente, quando o teor de substituição do PET não excede o percentual de 20%. Na maioria dos casos, estes estudos mostraram matrizes cimentícias eficientes quanto às suas propriedades mecânicas e com características que satisfazem aos padrões normativos.

Dessa forma, a presente pesquisa pretende aprimorar os estudos que já apresentaram viabilidade e resultados promissores com adição de agregado reciclado de PET através da aplicação de aditivo incorporador de ar (AIA). A incorporação de ar em matrizes cimentícias é uma alternativa que vem sendo foco de estudos (Romano (2013), Mendes *et al.* (2017), Ottoni *et al.* (2018), Biava *et al.* (2018), entre outros), visto que atribui novas características aos compósitos.

O aditivo químico incorporador de ar é responsável por conferir melhorias significativas na trabalhabilidade das misturas através da formação de microbolhas de ar durante o amassamento, que se mantêm no estado endurecido modificando algumas propriedades, tais como: redução da densidade, permeabilidade, exsudação e segregação, por exemplo. Além disso, a sua utilização pode proporcionar a diminuição do volume de outros materiais componentes da mistura, como a água de amassamento e conseqüentemente o consumo de cimento, reduzindo o custo final da produção de argamassas e concretos.

Nas últimas décadas estudos a respeito da incorporação de ar em matrizes cimentícias convencionais têm apresentado resultados promissores ((Alves (2002), Silva *et al.* (2009), Stoltz *et al.* (2011), Gava *et al.* (2015), Mendes *et al.* (2017), Ottoni *et al.* (2018), Biava *et al.* (2018), entre outros). No entanto, ainda não há

informações sobre o efeito desse aditivo nas propriedades do estado fresco e endurecido de misturas cimentícias com agregados reciclados de PET; motivo pelo qual serão realizadas as investigações neste trabalho.

Portanto, o desenvolvimento dessa pesquisa permite um aperfeiçoamento do que vem sendo estudado por outros pesquisadores quanto ao agregado reciclado de PET em argamassas (Vaz (2016) e Duó (2017)), avançando ainda mais em relação às novas tecnologias e meios que proporcionem melhorias às propriedades dos compósitos cimentícios. Além disso, para a construção civil é relevante que novas soluções sustentáveis sejam apresentadas, estudadas e testadas; para que no futuro seja possível e viável combater com materiais alternativos a escassez de recursos naturais não renováveis.

1.3 Estrutura da Pesquisa

O presente trabalho está estruturado em sete tópicos principais. O tópico um apresenta a introdução sobre o tema, o objetivo geral e os específicos e a justificativa da pesquisa. O capítulo dois contém a fundamentação teórica e os conceitos necessários para obter a contextualização do estudo. No terceiro capítulo, encontra-se a descrição dos materiais e métodos que foram utilizados para que sejam atingidos os objetivos e resultados requeridos pelo programa experimental e o cronograma da pesquisa. Os capítulos quatro, cinco, seis e sete correspondem aos resultados, considerações finais do estudo e as sugestões para trabalhos futuros. Por fim, apresentam-se as referências bibliográficas consultadas para o desenvolvimento do trabalho.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção serão apresentados os itens referentes à revisão bibliográfica que embasaram o desenvolvimento da presente pesquisa.

2.1 Argamassas

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define argamassa como uma mistura homogênea que pode ser dosada em obra ou industrializada, composta por agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s), água e, em alguns casos, aditivo(s).

Os autores Lourenci (2003), Werner (2004), Bauer (2005), entre outros, também conceituaram e classificaram as argamassas quanto aos seus componentes e qualidade. Para Lourenci (2003), a qualidade de uma argamassa está relacionada às características dos componentes que constituem o traço, sendo estes os fatores determinantes das propriedades de uma argamassa. Werner (2004) define as argamassas utilizadas na construção civil como um material complexo, composto por agregado miúdo envolvido por uma pasta (constituída por cimento e água) que funciona como aglomerante e, eventualmente, podem fazer parte dessa composição produtos denominados de aditivos. Quanto à classificação dos componentes e suas respectivas funções como constituintes da mistura, Bauer (2005) define como aglomerantes hidráulicos os cimentos Portland em conjunto com as cales virgem e hidráulica. Já os agregados miúdos são argumentados como uma espécie de “esqueleto” que integra as argamassas, mencionando a areia que pode ser natural ou artificial.

2.2 Classificação das argamassas

A argamassa é um dos produtos mais utilizados na construção civil, estando presente principalmente no revestimento e assentamento de alvenarias (HOBOLD FILHO; PELISSER, 2014).

A NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as argamassas em duas categorias principais: argamassa para assentamento e argamassa para revestimento. Dentro da categoria “revestimento”, classifica as argamassas em mais três categorias: para uso geral, para reboco e argamassa decorativa em camada fina e monocamada.

Recena (2012) classifica as argamassas quanto à sua forma de endurecimento e resistência a umidade, natureza do aglomerante, sua utilização,

volume de pasta presente na mistura, granulometria do agregado e a forma de produção.

2.2.1 Argamassa de assentamento

Conforme descrito em Souza (2008) as argamassas de assentamento podem ser usadas para unir blocos ou tijolos das alvenarias e também para a colocação de azulejos, tacos, ladrilhos e cerâmica.

Para Neto *et al.* (2010) as argamassas de assentamento podem ser empregadas como juntas entre as unidades de alvenaria e, com isso, elevam paredes e muros formando um elemento monolítico. Nesse contexto, a argamassa funciona como contribuinte na resistência, onde sela as juntas proporcionando estanqueidade e, além disso, contribui na absorção de deformações naturais, de origem térmica ou de retração.

Para Recena (2012), são funções das argamassas de assentamento: unir solidariamente os elementos que compõem a alvenaria, garantir a adesão dos elementos de revestimento ao substrato, distribuir uniformemente os esforços atuantes em uma alvenaria e proporcionar a impermeabilidade das alvenarias expostas (sem revestimento).

A Tabela 1 apresenta os tipos de argamassa de assentamento de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 1 – Tipos de argamassas de assentamento segundo NBR 13281 (ABNT, 2005).

| Argamassas de assentamento | |
|-----------------------------------|---|
| I. | Assentamento em alvenaria de vedação; |
| II. | Assentamento em alvenaria estrutural; |
| III. | Complementação da alvenaria (encunhamento) ¹ . |

¹Fechamento da alvenaria de vedação, após a última fiada de componentes.

Fonte: Elaboração própria

2.2.2 Argamassa de revestimento

As argamassas de revestimento são aquelas empregadas em elementos construtivos como paredes, muros e tetos, servindo como acabamento para posterior aplicação de pinturas, pastilhas cerâmicas, laminados, entre outros (CARASEK, 2007).



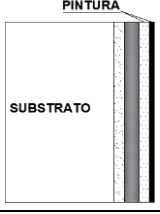


A NBR 13529 (ABNT, 2013) define argamassa de revestimento como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água,

contendo ou não aditivo, e que apresentem propriedades de aderência e endurecimento.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica os tipos de argamassa para revestimento de paredes e tetos como argamassas de revestimento interno e externo, sendo estas caracterizadas como uma camada de regularização (emboço ou camada única).

O revestimento argamassado, segundo Carasek (2007), pode ser constituído por várias camadas com características e funções específicas, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação das camadas do revestimento argamassado e suas respectivas funções

| Camada | | Função |
|--|---|--|
| Chapisco |  <p>CHAPISCO SUBSTRATO</p> | Camada de preparo da base com a finalidade de uniformizar a superfície e garantir aderência ao substrato; |
| Emboço |  <p>EMBOÇO SUBSTRATO</p> | Camada destinada a cobrir e regularizar a base, proporcionando que a superfície receba outra camada de revestimento; |
| Reboco |  <p>REBOCO PINTURA SUBSTRATO</p> | Camada destinada a cobrir o emboço, propiciando uma superfície para receber o acabamento final; |
| Camada única |  <p>CAMADA ÚNICA SUBSTRATO</p> | Revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, onde será aplicado revestimento decorativo; |
| Revestimento decorativo monocamada (RDM) |  <p>RDM SUBSTRATO</p> | Revestimento aplicado em uma única camada, destinado simultaneamente à regularização e decoração da base. |

Fonte: Adaptado de Carasek (2007) e Duó (2017)

Bauer (2005) afirma que os sistemas de revestimento atuam em suas funções e propriedades em conjunto com o substrato. Logo, além da escolha adequada de materiais componentes da mistura a base a ser revestida também deve estar devidamente preparada para receber o revestimento.

De acordo com Maciel *et al.* (1998), são funções do revestimento de argamassa:

- Proteger os elementos de vedação da ação de agentes agressivos;
- Auxiliar as vedações a cumprir o desempenho de suas funções;
- Regularizar a superfície dos elementos de vedação;
- Contribuir para a estética da fachada.

2.3 Propriedades das argamassas

Silva (1991) descreve que as propriedades das argamassas podem ser influenciadas por diversos fatores, sendo o principal deles a qualidade e quantidade de aglomerante e água utilizados na composição da pasta. Conforme ocorre a interação pasta/agregado se definem os vazios presentes na mistura e respectivamente a aderência dos componentes entre si.

Recena (2012) afirma que considerando as argamassas como um elemento que compõe um sistema e não como um material isolado, pode-se dizer que as funções a serem desempenhadas pelas argamassas em conjunto com o substrato e ambiente no qual se encontra exposta são:

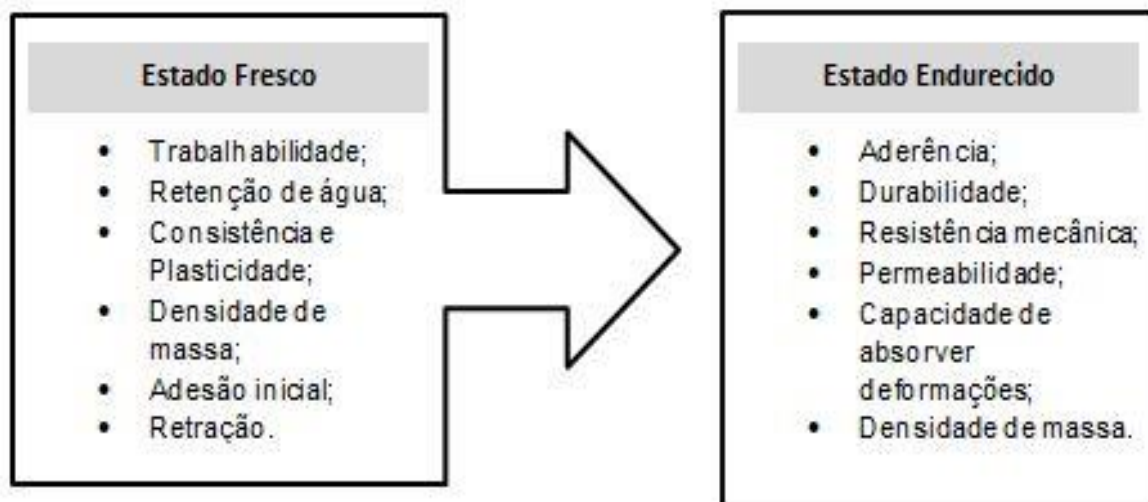
- Impermeabilizar o substrato de aplicação;
- Garantir o acabamento adequado do revestimento;
- Proporcionar a absorção de deformações naturais;
- Regularizar e/ou proteger mecanicamente substratos constituídos por sistemas de impermeabilização ou isolamento termoacústico.

Ainda, Recena (2012) afirma que para desempenhar as funções em destaque, as argamassas requerem as seguintes propriedades: trabalhabilidade, retenção de água, durabilidade, estabilidade química e física frente aos agentes de deterioração, adesão ao substrato e capacidade de absorver tensões internas geradas pela movimentação da estrutura e/ou de seus materiais componentes.

Vale ressaltar que o controle das propriedades das argamassas deve ser estudado tanto em seu estado fresco quanto no estado endurecido. Diante disso,

Ottoni *et al.* (2018) afirmam que somente a observação da consistência de uma argamassa (no estado fresco), como atualmente é realizado nos canteiros de obras, não é suficiente para garantir condições de aplicação adequadas. A Figura 1 apresenta um resumo das principais propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

Figura 1 – Propriedades das argamassas



Fonte: Adaptado de Baía e Sabbatini (2000)

2.3.1 Propriedades no estado fresco

As principais propriedades das argamassas no estado fresco são apresentadas nos itens 2.3.1.1 a 2.3.1.6.

2.3.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade, segundo Recena (2012), é a maior ou menor facilidade de dispor a argamassa em sua posição final, de forma que a mesma cumpra adequadamente sua finalidade (assentamento ou revestimento), sem comprometer o bom andamento da tarefa em termos de rendimento e custo.

Lourenci (2003) define a trabalhabilidade como a facilidade de manusear o produto durante sua produção e aplicação. Já Carasek (2007) considera esta propriedade como o resultado de um produto final que apresente homogeneidade, facilidade de mistura, transporte, aplicação e consolidação.

Maciel *et al.* (1998) caracterizam a trabalhabilidade como uma avaliação qualitativa, os autores afirmam que para uma argamassa ser considerada trabalhável ela deve apresentar as seguintes características: facilidade de penetração à colher

de pedreiro (sem fluidez), coesão ao ser transportada, não aderir à colher de pedreiro ao ser lançada, distribuir-se com facilidade, preencher as reentrâncias do substrato e desenvolver endurecimento lento quando aplicada.

Diversos autores (Santos (2003), Cardoso (2009), Duó (2017) Isaia (2017)), apontam a trabalhabilidade como uma das principais propriedades no estado fresco, a qual tem relação direta a outras características importantes não só ao comportamento reológico, mas também influentes no estado endurecido das argamassas.

A trabalhabilidade é uma propriedade complexa resultante da união a outras características, citam-se as que se sobressaem: consistência, coesão, plasticidade, adesividade, composição granulométrica, retenção de água, exsudação, densidade de massa, viscosidade, massa específica e adesão inicial (SANTOS, 2003; CARDOSO, 2009; DUÓ, 2017; ISAIA, 2017).

2.3.1.2 Retenção de água

A retenção de água corresponde à capacidade da argamassa, em seu estado fresco, de manter a sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a condições que ocasionem a perda de água, esta que pode acontecer através da evaporação, sucção ou absorção. Essa característica permite a adequada hidratação do cimento e endurecimento gradativo da argamassa, garantindo o desempenho esperado no revestimento ou no assentamento. (NAKAKURA, 2004).

Esta propriedade influencia nos processos de aplicação, sarrafeamento e desempenho da camada de revestimento, visto que argamassas com elevada retenção de água quando aplicadas sobre bases com baixa absorção possivelmente terão maior período sujeitas à evaporação, prejudicando a produtividade e tornando a argamassa suscetível à retração plástica e, de certa forma, reduzindo as propriedades mecânicas das argamassas (ALVES, 2002).

Para Muller (2017) quando a retenção de água não é adequada, ou seja, a argamassa apresenta perda de água rapidamente, ocorre o comprometimento de certas propriedades, sendo elas: aderência ao substrato, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica e a durabilidade e estanqueidade do revestimento e da vedação.

2.3.1.3 Consistência e plasticidade

A plasticidade pode ser caracterizada como a capacidade de manter a deformação causada pela ação de forças externas deformando a argamassa sem que haja ruptura (LEMES, 2013).

Autores como Alves (2002), Duó (2017) e Nakakura (2004) afirmam que a plasticidade juntamente com a consistência são as principais propriedades, no estado fresco, capazes de expressar a trabalhabilidade das argamassas.

As argamassas de revestimento devem ser caracterizadas por uma plasticidade maior, oriunda do aumento do volume de pasta. Logo, esse aumento de plasticidade garante melhor aderência instantânea ao substrato e permite um acabamento adequado. Já as argamassas de assentamento exigem uma plasticidade tal qual permita a obtenção de uma junta com a menor espessura possível e firme o suficiente para permitir a evolução da parede com velocidade e sem perda do prumo (RECENA, 2012).

2.3.1.4 Densidade de massa

De acordo com Ottoni *et al.* (2018) para uma argamassa apresentar facilidade de aplicação e trabalhabilidade, a mesma deverá ser mais leve (menos densa). Logo, quanto maior a densidade, maior a compactação da estrutura, o que caracteriza um aumento na resistência mecânica das argamassas.

Alves (2002) caracteriza densidade de massa como a relação entre a massa de material sólido e o volume, incluindo vazios. Desta forma, essa relação indica o teor de ar incorporado da argamassa e a facilidade de aplicação que a mesma apresenta.

Para Carasek (2007) a densidade de massa é uma propriedade no estado fresco que relaciona a massa e o volume, a NBR 13278 (ABNT, 2005) classifica as argamassas de acordo com a densidade de massa e teor de ar incorporado como normal, leve ou pesada, dependendo de sua utilização (isolamento térmico e acústico, aplicações convencionais ou blindagem e radiação).

2.3.1.5 Adesão inicial

De acordo com Carasek (2007) a adesão inicial, também denominada pegajosidade, pode ser definida como a propriedade em que a argamassa em seu

estado plástico, se mantém momentaneamente fixa ao substrato logo após seu lançamento, devido às forças de atrito e interfaciais.

A adesão inicial é uma propriedade momentânea, a qual é obtida logo após o lançamento da argamassa ao substrato e pode ser caracterizada a partir do seu enrijecimento, diminuição da plasticidade e aumento da consistência (SANTOS, 2003).

Para Baía e Sabbatini (2000) a adesão inicial depende dos seguintes fatores: propriedades e condições da base (porosidade, limpeza e rugosidade), características reológicas da argamassa (trabalhabilidade e retenção de água), técnica de execução (velocidade de lançamento e compressão realizada durante a aplicação) e espessura do revestimento que, em conjunto ao teor de água e ar incorporado, determinam a tensão limite de escoamento do sistema, ou seja, a tensão máxima que um material pode suportar ao ser submetido a um carregamento.

A adesão inicial é uma característica influente no comportamento dos revestimentos, visto que a mesma não interfere somente na facilidade ou dificuldade de execução dessa atividade. Para Zanelatto (2012) uma argamassa com baixa adesão inicial poderá apresentar deslocamento e fissuração quando submetida às operações de alisamento, sarrafeamento, raspagem ou desempenho, fatores que refletem na ancoragem mecânica e, conseqüentemente, na aderência, fissuração e durabilidade dos revestimentos de argamassa.

2.3.1.6 Retração

A retração plástica ou por secagem ocorre devido à remoção da água de amassamento através da evaporação, resultando em tensões capilares causadas devido à saída de água dos poros da matriz. Com isso, ocorrem alterações volumétricas de contração que poderão dar origem às fissuras (ALVES, 2002).

A retração da argamassa é diretamente proporcional ao percentual de água e cal presentes na mistura, esta propriedade tem influencia na consistência das misturas e é com base nestes parâmetros que as argamassas podem ser classificadas como secas, plásticas ou fluidas, dependendo da necessidade da obra (SANTIAGO, 2007).

Para Carasek (2007) a retração é um mecanismo associado à variação de volume da pasta aglomerante, a qual é influenciada pelo volume de vazios referente

à granulometria da mistura, o que irá classificar a retração como contínua, descontínua ou uniforme. Com isso, a autora afirma que a retração apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas, especialmente quanto à estanqueidade e durabilidade.

Bauer (2005) afirma que a retração é um dos fatores essenciais ao desempenho dos sistemas de revestimento, visto que problemas de fissuração (uma das principais patologias dos revestimentos) podem ser ocasionados pela retração oriunda da hidratação em fases mais avançadas (retenção de água), além disso, espessuras excessivas de revestimento podem resultar em problemas não somente relacionados à sobrecarga, mas também de retração e provável fissuração.

2.3.2 Propriedades no estado endurecido

As principais propriedades das argamassas no estado endurecido são apresentadas nos itens 2.3.2.1 a 2.3.2.6.

2.3.2.1 Aderência

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002) define a capacidade de aderência de uma argamassa como a propriedade de resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface com a base.

Diversos autores definiram a aderência como um fenômeno essencialmente mecânico, onde a camada de revestimento deve apresentar capacidade de resistir às tensões atuantes na interface base/revestimento (BAÍA E SABBATINI, 2000; NAKAMURA, 2005; CARASEK, 2007; MULLER, 2017).

Freitas (2013) cita o chapisco como a camada que funciona como ponte de aderência entre o substrato e a argamassa, já o emboço ao ser aplicado sobre o chapisco, deverá promover boa aderência entre as camadas do revestimento, sendo assim realizadas perfeitamente as funções do revestimento através da regularização e proteção da edificação.

Para Baía e Sabbatini (2000), a aderência, assim como a adesão inicial, depende de fatores como a qualidade da superfície e do revestimento, propriedades dos componentes da mistura e da argamassa, em especial, os agregados e a trabalhabilidade, respectivamente e, além disso, fatores extrínsecos caracterizados pela técnica de execução, aplicação e ação de intempéries.

2.3.2.2 Durabilidade

A durabilidade, de acordo com Recena (2012), é a capacidade que uma argamassa tem de manter sua estabilidade química e física ao longo do tempo diante da exposição a um determinado ambiente, desde que submetida aos esforços que foram considerados para seu projeto, sem deixar de desempenhar suas funções.

Diversos autores (Maciel *et al.* (1998), Pimentel (2004), Carasek (2007), Zanelatto (2012), Muller (2017)) apontam que a durabilidade de uma argamassa está diretamente relacionada ao desempenho de outras propriedades, sendo as principais: retração e retenção de água, adesão inicial, permeabilidade, porosidade e resistência mecânica.

Neville (2016) afirma que a durabilidade depende da facilidade ou dificuldade de penetração de fluídos (líquidos ou gasosos) no interior das argamassas ou concretos, visto que a penetração dos fluídos está relacionada, principalmente, à permeabilidade da estrutura. É a propriedade que a argamassa deve apresentar para resistir ao ataque de agentes agressivos, sustentando suas características físicas e mecânicas durante sua vida útil.

Segundo Recena (2012), a durabilidade de uma argamassa de assentamento e principalmente de revestimento estará intimamente ligada às possibilidades de penetração da umidade ou de sais solúveis passíveis de serem lixiviados.

Para Duó (2017), a durabilidade dos revestimentos tende a ser prejudicada diante dos seguintes fatores: fissuração, espessura excessiva, cultura e proliferação de micro-organismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção. Já Oliveira (2012) destaca como principais agentes danosos à durabilidade a exposição aos agentes agressivos e às intempéries em contraste à permeabilidade e suas consequências, que são as fissuras.

2.3.2.3 Resistência mecânica

As propriedades mecânicas, em especial a resistência das argamassas, consistem na capacidade de resistir aos esforços de tração, compressão ou cisalhamento, oriundos de cargas estáticas ou dinâmicas. A resistência à compressão, utilizada para controle da produção de cimento, é determinada tanto para argamassa de assentamento quanto revestimento (NAKAKURA, 2004).

Carasek (2007) classifica a resistência mecânica como uma das propriedades essenciais ao bom desempenho de argamassas a serem aplicadas em assentamento de alvenarias, revestimento, contrapiso e reparos de estruturas de concreto.

As propriedades mecânicas estão relacionadas a outras características que influenciam no desempenho da mesma, diversos autores destacaram estes aspectos (Maciel *et al.* (1998), Bauer (2005), Medeiros *et al.* (2011), Oliveira (2012), entre outros).

Maciel *et al.* (1998) citam como fatores influentes às propriedades mecânicas das argamassas a dosagem e a natureza dos agregados e aglomerantes constituintes da mistura, a técnica de execução, aplicação e acabamento e a perda de água, que afeta a aderência e capacidade de absorver deformações, comprometendo a durabilidade das estruturas. Ainda, os autores afirmam que a resistência mecânica aumenta a partir da redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação água/cimento.

Para Bauer (2005) o agregado, também definido em alguns casos como “esqueleto” dos sistemas de revestimentos argamassados, é parte integrante das argamassas e apresenta influência direta em diversas propriedades, sendo uma delas a resistência mecânica.

Medeiros *et al.* (2011) destacam que a resistência está relacionada à permeabilidade, para isto cuidados devem ser realizados a fim de evitar a porosidade, sendo eles: processo de moldagem, escolha dos agregados e da relação água/cimento, processo de cura, entre outros.

2.3.2.4 Permeabilidade à água

Nakakura (2004) define a permeabilidade como um fenômeno relacionado à passagem de água em seu estado líquido ou vapor através da camada de argamassa endurecida. A interligação dos vazios presentes na matriz cimentícia faz com que a argamassa seja ou não suscetível à penetração de líquidos e gases devido à permeabilidade. Esta propriedade pode ser oriunda de diversos fatores, sendo eles: excesso de água, redução de volume absoluto durante o processo de hidratação dos constituintes do cimento, ar incorporado e fissuras (ARAÚJO, 2005).

Muller (2017) afirma que a permeabilidade é influenciada pelos poros capilares de dimensões maiores que 50nm e pelas bolhas de ar incorporado que

podem chegar até 3mm, visto que os poros capilares são espaços ainda não preenchidos pelos componentes cimentícios hidratados. Com isso, a permeabilidade depende do processo de hidratação ao longo do tempo, ou seja, conforme se obtém o avanço de idade da argamassa, ocorre o endurecimento da mesma e mais baixa se torna a permeabilidade.

Além das propriedades mecânicas, outro aspecto relevante ao desempenho das argamassas é a permeabilidade, visto que a mesma determina a facilidade de percolação de fluidos através dos sistemas de revestimentos argamassados. A permeabilidade determina a penetração de fluídos, sejam eles ar, água, líquidos, gases ou vapores em materiais porosos decorrentes da ação de gradientes de pressão (CARDOSO, 2009).

A interligação dos vazios é um dos fatores que torna as argamassas e concretos permeáveis ou não, pois quanto maior for a dimensão do agregado, maior o índice de vazios e, portanto, a permeabilidade. Além disso, o processo de cura também é um fator determinante da permeabilidade, visto que isso poderá causar microfissuras devido à baixa hidratação. Portanto, quando há permeabilidade os componentes estão suscetíveis às intempéries e ação de agentes agressivos, sendo a durabilidade uma das principais consequências desse fenômeno (PETRUCCI, 1998; MEDEIROS *et al.*, 2011; OLIVEIRA, 2012; NEVILLE, 2016).

2.3.2.5 Capacidade de absorver deformações

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2002), a capacidade de absorver deformações é a propriedade que indica a capacidade de absorver as deformações intrínsecas (do próprio revestimento) ou extrínsecas (da base) sem sofrer ruptura.

A capacidade de absorver deformações impostas pelo substrato influencia diretamente o grau de fissuração de um revestimento, em virtude das movimentações térmicas e higroscópicas ou movimentações oriundas de deformações do substrato de pequena significância. Contudo, a capacidade de absorver deformações depende dos seguintes fatores: características dos materiais constituintes da argamassa, espessura e aplicação do revestimento, propriedades do substrato e condições ambientais as quais o revestimento está exposto (BAÍA; SABBATINI, 2000).

No entanto, é a intensidade dos aspectos que interferem na capacidade do revestimento a resistir às deformações impostas, prejudicando a estanqueidade à água e aderência no entorno de regiões fissuradas, comprometendo a durabilidade do revestimento e dos elementos de vedação e, também o acabamento final, especialmente em revestimentos de fachada, expostos continuamente às intempéries (ZANELATTO, 2012).

2.3.2.6 Densidade de massa no estado endurecido

Segundo Nakakura (2004), a densidade de massa aparente no estado endurecido é a relação entre massa e volume total de argamassa após 28 dias de cura, este valor é um indicativo da compacidade resultante da proporção de mistura da pasta (agregado e aglomerante) e da granulometria da composição. Através desta propriedade, determina-se indiretamente o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassamento perdida por evaporação.

A Tabela 3 apresenta a classificação das argamassas quanto ao estado endurecido de acordo com a NBR 13280 (ABNT, 2005).

Tabela 3 – Classificação das argamassas de acordo com a NBR 13280 (ABNT, 2005) para densidade de massa no estado endurecido

| Classificação | |
|---------------|---|
| Classe | Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m ³) |
| M1 | ≤1200 |
| M2 | 1000 a 1400 |
| M3 | 1200 a 1600 |
| M4 | 1400 a 1800 |
| M5 | 1600 a 2000 |
| M6 | > 1800 |

Fonte: Adaptado da NBR 13280 (ABNT, 2005)

2.4 Alteração de propriedades específicas de matrizes cimentícias pelo uso de aditivos incorporadores de ar

Atualmente, os aditivos são utilizados com a finalidade de melhorar características específicas em matrizes cimentícias. Encontra-se no mercado mais de 20 tipos de aditivos, dentre eles os incorporadores de ar (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Araújo (2005) caracteriza o aditivo incorporador de ar como o principal aditivo empregado em argamassas, cujo mecanismo de ação primordial é a incorporação e estabilização de uma grande quantidade de microbolhas, homoganeamente

distribuídas na mistura em seu estado fresco, mantendo-as incorporadas após a pega e o endurecimento.

Os aditivos incorporadores de ar, também são conhecidos como aeradores ou estabilizadores para argamassas, apresentam destaque por serem empregados em larga escala no mercado da construção civil (RECENA, 2012).

As argamassas apresentam incorporação de ar em seu interior correspondente aos vazios formados pela entrada de ar, este fenômeno tem origem, principalmente, durante o processo de mistura mecânica que automaticamente introduz ar na argamassa (MANSUR *et al.*, 2007). Ottoni *et al.* (2018) explicam que as bolhas de ar incorporadas durante o processo de mistura das argamassas são instáveis e entram em colapso imediatamente após cessar a mistura, visto que não possuem nenhum aditivo que as conserve.

Dentro desse contexto, Romano (2013) define como um importante avanço tecnológico a incorporação de ar em materiais e componentes da construção civil, visto que ao serem aplicados nas argamassas e concretos agem de forma a conferir melhorias em diversas propriedades, sendo elas:

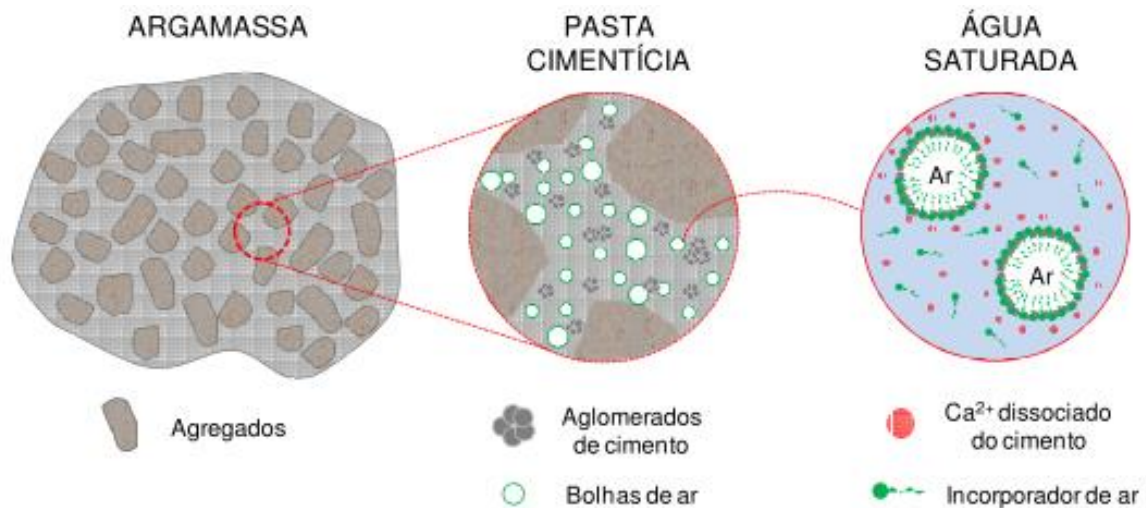
- Melhor trabalhabilidade;
- Melhor coesão dos sistemas;
- Redução da exsudação e segregação dos componentes;
- Facilidade de espalhamento manual;
- Facilidade de manuseio e conseqüentemente aumento de produtividade;
- Redução de cargas sobre as estruturas;
- Redução do consumo de aglomerantes e agregados nas composições;
- Aumenta a resistência a ciclos de gelo-degelo.

O aditivo incorporador de ar é adicionado às argamassas com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade, sendo que este ar intencionalmente incorporado altera a suspensão cimentícia no estado fresco e posteriormente no endurecido. Algumas propriedades são alteradas benéficamente devido à incorporação de ar, sendo elas: redução do módulo de deformação, retração, exsudação e massa específica (BAUER, 2005).

Para Alves (2002) os agentes incorporadores de ar são tensoativos aniônicos que ao serem adicionados às matrizes cimentícias tendem a se adsorver na superfície das partículas de aglomerante através da sua parte polar, sendo sua parte

apolar relacionada à água. O desenvolvimento das bolhas é originado pelos tensoativos que não foram adsorvidos logo, mediante a agitação da mistura, serão fabricadas bolhas estáveis de ar, com aparência de esferas microscópicas, decorrentes da aglutinação das partes apolares dos tensoativos (Figura 2).

Figura 2 – Efeito da presença de bolhas de ar nas argamassas



Fonte: Romano, (2013)

Nakakura (2004) cita que as argamassas atingem 3 a 4% de ar incorporado durante a mistura, porém, este valor pode ser aumentado e mantido no estado endurecido com o emprego de aditivos incorporadores de ar.

A utilização de incorporadores nas misturas resulta em um sistema eficaz de espuma, o qual permite a manutenção do teor de ar incorporado do estado fresco para o estado endurecido. Tal incorporação proporciona melhorias significativas nas seguintes propriedades: ganho de trabalhabilidade e plasticidade, reduz a tendência de segregação e exsudação e diminui a retração plástica por secagem nas misturas (NATALI, 2017).

De acordo com Gava *et al.* (2015) nas argamassas para assentamento emprega-se aditivo incorporador de ar para melhorar as características no seu estado fresco, no entanto não há um entendimento sobre os efeitos deste aditivo sobre as propriedades no estado endurecido.

A incorporação de ar em argamassas para revestimento confere maior trabalhabilidade no estado fresco e redução do consumo de materiais, contribuindo para a redução do consumo de água e cimento, ocasionando respectivamente a queda da densidade de massa aparente no estado fresco, o que afeta as

propriedades mecânicas no estado endurecido, devido à incorporação de bolhas de ar (OTTONI *et al.*, 2018).

Portanto, o uso de aditivo incorporador de ar se torna uma alternativa economicamente viável para traços que exijam grandes quantidades de cimento, estas que serão reduzidas a partir da aplicação do aditivo (RECENA, 2012).

2.4.1 Argamassas com aditivos incorporadores de ar

As argamassas necessitam de uma quantidade mínima de pasta (formada por aglomerante, água e ar aprisionado) para preencher os vazios de modo a garantir a trabalhabilidade e a coesão. Neste contexto, Recena (2012) explica que a pasta pode apresentar necessidade de aumento em seu volume, com isso, os aditivos incorporadores de ar, ao aumentarem a quantidade de ar presente na pasta, na forma de pequenas bolhas, amplificam seu volume, viabilizando o emprego de argamassas em traços que não apresentariam trabalhabilidade em níveis mínimos para utilização.

Romano (2013) ressalta que o traço utilizado, a interação aditivo/cimento, os teores de água e aditivo, a distribuição granulométrica dos agregados, o tempo de mistura, a temperatura da água e ambiente e o tipo de aditivo empregado são as principais variáveis que interferem na incorporação de ar nas misturas.

Nas últimas décadas, diversos autores (Silva *et al.* (2009), Stoltz *et al.* (2011), Gava *et al.* (2015), Mendes *et al.* (2017), Ottoni *et al.* (2018), Salles Neto *et al.* (2018), Biava *et al.* (2018), entre outros) têm voltado as suas pesquisas para a influência do ar incorporado em matrizes cimentícias e seus resultados estão apresentados nas Tabelas 4 e 4.1 a seguir.

Tabela 4 – Pesquisas realizadas em argamassas com aditivos incorporadores de ar

| Pesquisa | Autor/ Ano | Resultados |
|--|-----------------------------|---|
| Efeitos da incorporação de ar nas propriedades do estado endurecido de argamassas de cimento e areia | Silva <i>et al.</i> (2009) | O AIA ⁽¹⁾ foi inserido nas porcentagens de 0%, 0,05%, 0,10%, 0,15% e 0,20%. Os resultados mostram que para pequenas quantidades de aditivo a incorporação de ar já apresenta melhora significativa das propriedades, conferindo trabalhabilidade no estado fresco e redução de consumo de água para obter a mesma consistência. Além disso, o aumento de aditivo acompanha a redução do coeficiente de capilaridade, visto que as bolhas microscópicas de ar presentes no interior das argamassas dificultam a ascensão da água. |
| Influência da reologia de diferentes argamassas de revestimento na minimização de manifestações patológicas por descolamento | Stoltz <i>et al.</i> (2011) | Foram produzidas três traços de argamassa de cimento, cal e areia, com AIA ⁽¹⁾ adicionado nos teores de 0%, 0,2% e 0,5%. O estudo foi realizado no estado fresco e endurecido, as manifestações patológicas foram avaliadas através da aplicação de argamassa sobre substrato de concreto para verificação da resistência de aderência à tração e ao cisalhamento. Conforme ocorreu o aumento de aditivo, houve a alteração da reologia das argamassas, o que resultou em baixos valores de resistência de aderência à tração e cisalhamento e, com isso, surgiram patologias no substrato. A presença de AIA ⁽¹⁾ influenciou de forma negativa na resistência mecânica e de aderência ao substrato, devido à formação de bolsões de ar na interface. |
| Comportamento de argamassas de assentamento no estado fresco e endurecido com AIA ⁽¹⁾ | Gava <i>et al.</i> (2015) | A aplicação de AIA ⁽¹⁾ foi realizada em dois traços nos teores de 0% a 0,5%. Os resultados constataram que à medida que aumentou o teor de aditivo houve a diminuição da massa específica, já no estado endurecido, o emprego do aditivo promoveu uma diminuição na quantidade da água de amassamento, no entanto houve diminuição na resistência à compressão e à tração na flexão. Por fim, os autores recomendam o emprego de um teor de até 0,2% de aditivo, pois acima disso haveria aumento do custo da argamassa sem apresentar vantagens técnicas. |
| Análise morfológica e microestrutural associada às propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas com AIA ⁽¹⁾ | Mendes <i>et al.</i> (2015) | O AIA ⁽¹⁾ foi adicionado nos teores de 0,0005% a 0,8% em um traço de argamassa composta por cimento e areia. Os resultados mostram que traços com baixa concentração de aditivo (até aproximadamente 0,02%), as propriedades físicas e mecânicas são pouco afetadas. Os valores intermediários de aditivo (até 0,2%) resultaram em uma redução média nas propriedades mecânicas e as propriedades reológicas, no entanto, se mantiveram estáveis. Já os teores elevados de aditivo (acima de 0,2%) apresentaram uma diminuição significativa nas propriedades físicas e mecânicas, alta absorção de água e uma interface frágil. |

⁽¹⁾ AIA: Aditivo Incorporador de Ar.

Tabela 4.1 – Pesquisas realizadas em argamassas com aditivos incorporadores de ar

| Pesquisa | Autor/ Ano | Resultados |
|---|----------------------------------|--|
| Influência da substituição total ou parcial da cal por AIA ⁽¹⁾ nas propriedades no estado fresco endurecido de argamassa convencional | Ottoni <i>et al.</i> (2018) | Foram desenvolvidos seis traços de argamassa convencional variando os teores de aditivo de 0% a 0,41%. No estado fresco, os traços com baixos teores de AIA ⁽¹⁾ apresentaram menor densidade de massa e maior concentração de ar incorporado, ou seja, confirma a melhoria da trabalhabilidade das argamassas aditivadas. Já no estado endurecido, os traços com maior quantidade de bolhas de ar em sua estrutura obtiveram baixos resultados nas propriedades mecânicas, consequentes aos menores valores de densidade de massa. |
| Comparativo da aplicação de diferentes quantidades de AIA ⁽¹⁾ industrial e um aditivo alternativo de baixo custo (detergente residual) em argamassas | Salles Neto <i>et al.</i> (2018) | Os resultados apresentam que o uso de aditivo acarreta em uma considerável alteração na trabalhabilidade, consistência e plasticidade das argamassas, em seu estado fresco. Já as propriedades mecânicas do estado endurecido, decaem em consequentemente com o aumento dos teores de aditivo. O aditivo alternativo de baixo custo forma poros de menores diâmetros que o aditivo industrial e, por este motivo, apresenta melhores resultados em termos de propriedades mecânicas. Por fim, os resultados indicam que o uso de detergente líquido pode ser empregado para assentamento e revestimento de alvenaria, desde que não ultrapasse a proporção de 0,15 ml por quilograma de cimento. |
| Estudo das propriedades no estado endurecido de argamassas de emboço com AIA ⁽¹⁾ | Biava <i>et al.</i> (2018) | Os traços estudados foram compostos por areia natural e de britagem em diferentes proporções e teores de aditivo de 0% a 0,5%. Os resultados concluem que a partir do aumento do teor de aditivo, houve redução gradativa das resistências mecânicas, o mesmo ocorreu com a densidade de massa aparente consequentemente. |

⁽¹⁾ AIA: Aditivo Incorporador de Ar.

Fonte: Elaboração própria

O teor de ar incorporado nas argamassas, apesar de favorecer a sua trabalhabilidade, atua de forma desfavorável em relação às resistências mecânicas de acordo com o percentual aplicado (MANSUR *et al.*, 2007).

Os estudos citados (Silva *et al.*, 2009; Stolz *et al.*, 2011; Gava *et al.*, 2015; Belino, 2016; Mendes *et al.*, 2017; Biava *et al.*, 2018; Ottoni *et al.*, 2018; Salles Neto *et al.*, 2018), permitem concluir que com a utilização do teor de aditivo ideal é possível produzir argamassas trabalháveis e com desempenhos satisfatórios, além de reduzir o consumo de materiais e consequentemente o custo final da argamassa. Os autores ainda concluem que dosagens de aditivo no intervalo de 0,15% a 0,20%

não apresentam relação custo/benefício favorável em sua utilização, tanto às propriedades mecânicas quanto reológicas das argamassas.

2.5 Utilização de materiais alternativos em argamassas

O consumo excessivo de recursos naturais é um dos principais agentes desencadeadores da necessidade da sustentabilidade ambiental. Neste contexto, a construção civil, por se tratar de um setor que utiliza recursos não renováveis em grande quantidade, demanda a necessidade da inserção de novos materiais que beneficiem ambientalmente e economicamente (CANELLAS, 2005; JARDIM, 2016; FERNANDES; 2017).

Recena (2012) afirma que é possível obter uma argamassa de excelente qualidade e adequada ao seu uso final com uma gama variada de materiais.

Estudos apresentados por Soares *et al.* (2015) afirmam que a necessidade de atender às exigências do mercado e garantir a produtividade na construção civil, torna cada vez mais importante a aplicação de medidas eficientes e sustentáveis de melhorar as propriedades da argamassa tanto no estado endurecido quanto o comportamento reológico no estado fresco.

Atualmente, diversos autores têm realizado as suas pesquisas em matrizes cimentícias utilizando materiais alternativos (Canellas (2005), Coelho (2005), Lourenci (2005), Jardim (2016), Vaz (2016), Duó (2017), Cardoso (2017), Fernandes (2017), Ficher (2017), Moura (2017), Rosa (2017), Schneider (2018), Tonello (2017), entre outros) com resultados promissores.

2.5.1 Matrizes cimentícias com areia de PET

A utilização da areia de PET na produção de argamassas e concretos proporciona benefícios no âmbito ambiental e econômico, devido ao seu baixo custo, visto que é um material reciclado. Além disso, a areia de PET utilizada em argamassas como substituição parcial da areia reduz seu consumo e minimiza o impacto causado durante o processo de fabricação deste agregado (MOURA, 2017; DUÓ, 2017).

Segundo a NBR 10.004 (ABNT, 2004), a classificação dos resíduos sólidos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem, seus constituintes e características, sendo as classes I, II, II A e II B destinadas aos resíduos perigosos, não perigosos, não inertes e inertes, respectivamente. Com

base nas classes apresentadas, o Politereftalato de Etileno (PET), é classificado como um resíduo de classe II A – não inertes.

A inserção do agregado reciclado de PET no desenvolvimento de tecnologias para conferir novos produtos tem forte apelo ambiental e sustentável (CANELLAS, 2005). Na área de construção civil, diversas pesquisas (Santos (2012), Jardim (2016), Duó (2017), Fernandes (2017), Moura (2017), Rosa (2017), Vaz (2017), Guerra (2018) entre outros) têm sido realizadas visando o aproveitamento desse resíduo (em substituição ao agregado miúdo natural) em matrizes cimentícias. Os resultados obtidos para argamassas estão expostos nas Tabelas 5 a 5.2 abaixo.

Tabela 5 – Pesquisas realizadas em argamassas com agregado reciclado de PET

| Pesquisa | Autor/ Ano | Resultados |
|---|------------------|---|
| Estudo da reciclagem do PET ⁽¹⁾ através da substituição parcial do agregado miúdo pelo agregado alternativo em argamassas | Canellas, (2005) | Nesta pesquisa foram realizadas substituições nas proporções de 10, 30 e 50%, os resultados apontam que a melhor possibilidade de utilização do agregado é com a substituição de 30%, pois as demais argamassas produzidas não apresentaram mudanças significativas na plasticidade e nas resistências a compressão e a tração. Por fim, a autora concluiu que o compósito obtido tem potencial para ser utilizado sem grande responsabilidade estrutural, além de seu uso permitir uma economia significativa de volumes de areia, um recurso natural cuja extração causa grandes danos ao ecossistema.. |
| Efeito da substituição de partículas de quartzo por PET ⁽¹⁾ nas propriedades de compósitos cimentícios constituídos em uma fase por cimento Portland (ARI PLUS tipo V) e em outra por partículas de quartzo e/ou de PET ⁽¹⁾ nas dimensões fina, média e grossa. | Santos, (2012) | Foram moldados aproximadamente duzentos corpos de prova em moldes cilíndricos de PVC. O estudo foi realizado em quatro traços referência, avaliando-se dez condições para cada composição, os ensaios realizados foram: densidade e porosidade aparentes, absorção de água, permeabilidade, resistência à compressão e módulo de elasticidade estático. A autora concluiu que a relação a/c (água/cimento) de 0,45 em conjunto com as menores faixas granulométricas (partículas finas) causam o aumento da absorção de água, permeabilidade e porosidade, todavia diminuem os resultados das propriedades mecânicas (módulo de elasticidade e resistência à compressão). Em relação às propriedades mecânicas, os melhores resultados foram obtidos para as misturas com relação a/c de 0,55 e faixa granulométrica de partículas média a grossa. Os resultados mostraram que o compósito C6 (a/c 0,55 e substituição de partículas passantes na peneira 4,75mm e retidas na abertura de 850µm) exibiu propriedades aceitáveis, sendo este o traço mais recomendado para o reuso de partículas de PET em aplicações não estruturais para construção civil. |

⁽¹⁾ PET: Politereftalato de Etileno.

Tabela 5.1 – Pesquisas realizadas em argamassas com agregado reciclado de PET

| Pesquisa | Autor/ Ano | Resultados |
|---|-----------------|--|
| Avaliação do desempenho no estado fresco e endurecido de uma argamassa convencional comparada a argamassas com substituição parcial de agregado reciclado de PET ⁽¹⁾ | Duó, (2017) | Realizaram-se substituições nas proporções nas porcentagens 0%, 5%, 15% e 30%. A autora verificou um aumento do índice de consistência das argamassas em conformidade ao aumento da porcentagem de agregado reciclado de PET ⁽¹⁾ , apesar da diminuição de água nas misturas. Ainda, observou que a densidade de massa diminuiu conforme ocorreu o aumento de porcentagem de PET ⁽¹⁾ , já o teor de ar incorporado aumentou com a presença do agregado plástico, o que gerou a diminuição da porosidade das argamassas com alto teor de PET ⁽¹⁾ na mistura. Tanto na análise de tração na flexão quanto na compressão axial, ocorreu aumento de resistência, em contraste ao aumento de substituição de agregado de PET. Sobre o estudo das argamassas aplicadas em substrato cerâmico, juntamente com a avaliação da resistência à aderência à tração, a autora constatou que as argamassas estudadas atenderam os critérios normativos da NBR 13749 (ABNT, 2013). |
| Aplicação de resíduo de PET ⁽¹⁾ como alternativa para substituição do agregado miúdo natural em argamassas de assentamento | Rosa, (2017) | Foram estudados três traços, sendo eles o traço referência (0% de substituição) e os demais com 25% e 45% de resíduo reciclado. Os resultados foram obtidos através da análise no estado fresco (índice de consistência) e a resistência mecânica à compressão axial no estado endurecido e, além disso, foi testada a aplicabilidade dos traços no assentamento de paredes de tijolos cerâmicos. A autora encontrou resultados coerentes com a norma para o traço referência em todos os ensaios, já nos traços com agregado plástico a resistência à compressão axial não se enquadrou nos limites exigidos. Quanto ao assentamento das paredes as argamassas apresentaram adequada funcionalidade, nos 28 dias analisados. Por fim, a autora sugere a utilização de menores porcentagens de substituição para obter melhores resultados, e sendo assim, garantir a viabilidade do uso do agregado PET ⁽¹⁾ . |
| Desempenho no estado fresco e endurecido de três argamassas modificadas com substituição de areia natural pela areia de PET ⁽¹⁾ | Vaz, (2017) | A substituição do agregado natural por agregado reciclado ocorreu nas porcentagens de 5%, 15% e 30% (em volume). A autora observou que as misturas com 5% e 15% de substituição apresentaram desempenhos satisfatórios tanto no estado fresco (índice de consistência, densidade e teor de ar incorporado) quanto no endurecido (absorção por capilaridade, resistência de compressão e de tração na flexão), estando dentro dos parâmetros normativos. Para a mistura com teor de substituição de 30%, a autora verificou perda de desempenho, principalmente com relação à absorção de água por capilaridade. |

⁽¹⁾ PET: Politereftalato de Etileno.

Tabela 5.2 – Pesquisas realizadas em argamassas com agregado reciclado de PET

| Pesquisa | Autor/ Ano | Resultados |
|---|-----------------------------|--|
| Análise das propriedades mecânicas a partir da substituição parcial do cimento por PET ⁽¹⁾ triturado em argamassas manufaturadas | Guerra <i>et al.</i> (2018) | Para a execução da pesquisa, foram moldados corpos de prova com substituição parcial nos teores de 5% e 10%. As avaliações foram realizadas com base nos ensaios de resistência à compressão simples nas idades de 7, 14 e 28 dias. Os resultados apresentados concluem que a substituição do cimento por PET ⁽¹⁾ causou a redução dos valores de resistência à compressão para todos os teores de substituição e idades de cura. O autor atribui esse resultado ao fato do cimento ser o principal componente responsável pela evolução da resistência à compressão. Além disso, o autor observou que a não homogeneidade das misturas com incorporação de PET ⁽¹⁾ pode causar a redução da trabalhabilidade, da consistência e da retenção de água, contribuindo para uma maior segregação das partículas da argamassa. A conclusão apresentada mostra que a substituição de 5% e 10% de PET ⁽¹⁾ sobre o cimento do traço não atenderam os parâmetros normativos da NBR 13281 (ABNT, 2005). |

⁽¹⁾ PET: Politereftalato de Etileno.

Fonte: Elaboração própria

Os resultados obtidos para os autores que avaliaram o efeito do agregado reciclado de PET em concretos estão apresentados nas Tabelas 6 e 6.1.

Tabela 6 – Pesquisas realizadas em concretos com agregado reciclado de PET

| Pesquisa | Autor/ Ano | Resultados |
|---|----------------|---|
| Análise das propriedades mecânicas através do estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado reciclado de PET ⁽¹⁾ em concretos convencionais | Jardim. (2016) | As propriedades mecânicas foram avaliadas através dos ensaios de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral, nas idades de controle de 7 e 28 dias. Os traços estudados foram confeccionados com substituição parcial nos teores de 0% (traço referência), 10% e 15%. A autora observou que ao inserir o agregado reciclado de PET ⁽¹⁾ ocorre a diminuição do peso do concreto, em consequência à diferença de densidades de massa entre os agregados natural e reciclado (agregado natural apresenta densidade maior que o reciclado) e, com isso, ocorre o aumento da trabalhabilidade. Com relação às propriedades mecânicas, a pesquisa não apresentou mudanças significativas na resistência à compressão axial e à tração, ou seja, não houve alterações nas propriedades devido à substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado de PET ⁽¹⁾ , o que pode ser um bom indicativo para o uso desse material. |

⁽¹⁾ PET: Politereftalato de Etileno.

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6.1 – Pesquisas realizadas em concretos com agregado reciclado de PET

| Pesquisa | Autor/ Ano | Resultados |
|---|----------------------|--|
| Análise das propriedades mecânicas de concretos convencionais através da substituição parcial da areia natural por agregado reciclado de PET ⁽¹⁾ | Fernandes, (2017) | Foram realizados os ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão e retração por secagem para avaliação das propriedades mecânicas e durabilidade, respectivamente. A substituição do agregado natural ocorreu nas porcentagens de 10% e 15% comparadas a um traço referência contendo 0% de agregado PET ⁽¹⁾ . Os resultados apresentados tanto para durabilidade, quanto para propriedades mecânicas comprovam que os concretos não foram influenciados significativamente pelos diferentes teores de substituição de agregado. As análises da autora em relação à trabalhabilidade estão de acordo com os resultados apresentados por Jardim (2016). Com isso, a autora concluiu que a substituição de agregado miúdo natural por agregado reciclado de PET ⁽¹⁾ é viável. |
| Análise da substituição de agregado natural por agregado reciclado de PET ⁽¹⁾ na fabricação de concretos leves com argila expandida | Moura, (2017) | A autora realizou as substituições nas porcentagens de 0%, 15% e 30%. Foram estudadas propriedades físicas (massa específica, índice de vazios e absorção de água) e mecânicas (resistência à compressão axial e à tração na flexão). Os concretos foram classificados como leves estruturais com propriedades mecânicas de acordo com os padrões normativos, embora todos os traços tenham obtido resultados similares para compressão axial e somente os valores de resistência à tração na flexão apresentaram acréscimo de resultados para o traço com 15% de substituição. Em relação à condutividade térmica os resultados foram satisfatórios e atendem aos limites da norma, ou seja, ao comparar os traços alternativos com o referencial convencional as substituições não apresentaram perda de desempenho térmico. |

⁽¹⁾ PET: Politereftalato de Etileno.

Fonte: Elaboração própria

Os resultados apresentados pelos autores (Canellas (2005), Santos (2012) Jardim (2016), Duó (2017), Fernandes (2017), Moura (2017), Rosa (2017), Vaz (2017), Guerra *et al.* (2018)) são concordantes quanto às vantagens de aplicação do agregado reciclado de PET como uma alternativa sustentável e também componente de matrizes cimentícias. Visto que além de contribuir ecologicamente, os estudos realizados apresentaram resultados progressivos quanto às propriedades mecânicas das argamassas e concretos avaliados conforme ocorre o aumento da porcentagem substituição do agregado natural pelo agregado plástico. Além disso, a partir desta substituição parcial, os agregados ao trabalharem em conjunto (agregado natural e agregado reciclado de PET) modificam a granulometria das misturas positivamente, visto que após os ensaios verifica-se uma curva granulométrica compatível entre os

mesmos e, por este motivo, viabiliza ainda mais sua utilização. Além disso, o aproveitamento deste agregado alternativo comparado ao agregado natural altera características físicas capazes de conferir leveza e, conseqüentemente a melhora da reologia das misturas no estado fresco.

Em função do exposto, a presente pesquisa consiste em uma abordagem sobre a influência de aditivos incorporadores de ar nas propriedades no estado fresco e endurecido de argamassas mistas com substituição de agregado miúdo natural por agregado reciclado de PET. Os traços estudados apresentam percentuais de aditivo incorporador de ar nas porcentagens de 0%, 0,05%, 0,10% e 0,15% e agregado reciclado de PET em substituição em volume ao agregado natural nos teores de 5% e 15% de substituição.

3 METODOLOGIA

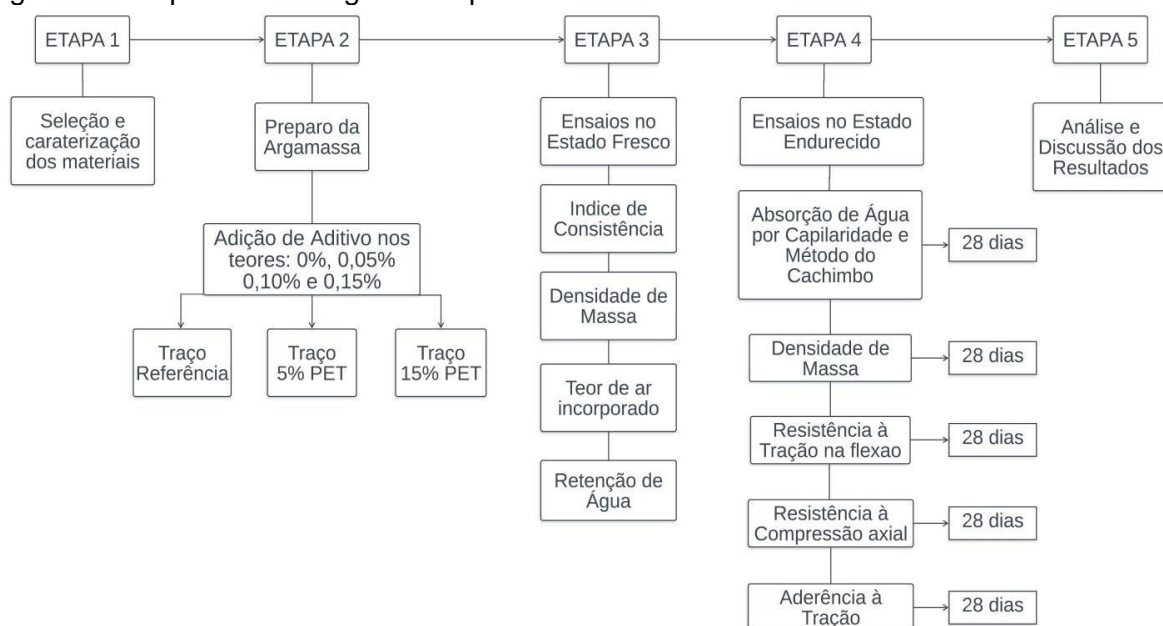
Neste capítulo serão apresentadas as etapas para o desenvolvimento da pesquisa, além disso, serão descritos os materiais utilizados para produção das misturas, a caracterização dos componentes das argamassas, bem como os métodos necessários para realização dos ensaios que foram previstos no programa experimental.

3.1 Programa Experimental

O programa experimental desta pesquisa (Figura 3) foi dividido em cinco etapas distintas. Na primeira etapa (item 3.2) foi realizada a seleção e a caracterização dos materiais que foram utilizados na pesquisa. A segunda etapa (item 3.3) foi destinada ao preparo das argamassas e moldagem dos corpos de prova. A terceira e quarta etapas (itens 3.4 e 3.5) corresponderam aos ensaios de controle das propriedades nos estados fresco e endurecido, respectivamente. A quinta e última etapa correspondeu ao fechamento da pesquisa. Nesta etapa são apresentadas as análises, a discussão dos resultados e as conclusões finais do trabalho (itens 4 5 e 6).

Para a execução da primeira à quarta etapa foram utilizados os equipamentos e o espaço físico do Laboratório de Materiais da Universidade Federal do Pampa, campus Alegrete/RS.

Figura 3 – Esquema do Programa Experimental



Fonte: Elaboração própria

3.2 Materiais

Nesta seção serão descritas as características dos materiais empregados na confecção das argamassas, de acordo com as etapas apresentadas no programa experimental da pesquisa (Figura 3).

Para a produção das argamassas foram utilizados os materiais listados a seguir:

- Cimento Portland;
- Cal hidratada;
- Agregado miúdo natural;
- Agregado reciclado de PET;
- Aditivo incorporador de ar.

3.2.1 Cimento Portland

Como material aglomerante utilizado foi o cimento Portland CP IV – 32, conforme as condições exigíveis da norma NBR 16697 (ABNT, 2018). O cimento foi adquirido no mercado local na cidade Alegrete/RS.

As características físico-químicas e mecânicas fornecidas pelo fabricante estão apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Exigências físico-químicas e mecânicas do cimento Portland CPIV 32

| Finura | | | Tempo de Pega (min.) | | Resistência a Compressão (MPa) | | |
|-----------------------------|---------|--|----------------------|----------------------------|--------------------------------|--|---------|
| Blaine (cm ³ /g) | #200(%) | #325(%) | Início de Pega | Fim de Pega | 03 Dias | 07 Dias | 28 Dias |
| 4690 | 0,1 | - | 350 | 440 | 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 | | 2,8 ≤ Ya ≤ 3,2 a 20°C | | Até 1,5 a 20°C | | 0,9 a 1,2 a 20°C | |

Fonte: Dados disponibilizados pelo fabricante

Para verificação da massa específica do cimento foi realizado o ensaio no Laboratório de Materiais da Unipampa campus Alegrete/RS, conforme as prescrições da NBR 16605 (ABNT, 2017). Foi adotado como resultado final, o resultado médio de duas determinações, que estabeleceram a massa específica do

cimento em $3,20 \text{ g/cm}^2$. Como pode ser observado na Tabela 7, o valor determinado através do ensaio se enquadra dentro nos limites estipulados pelo fabricante ($2,8$ a $3,2 \text{ g/cm}^3$).

3.2.2 Cal Hidratada

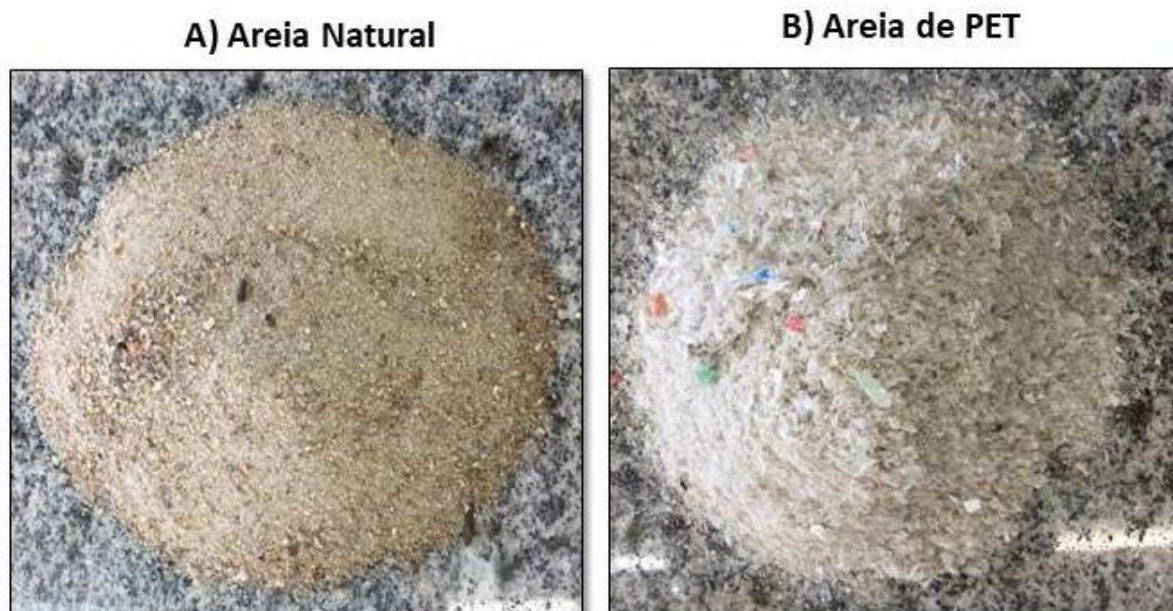
A cal hidratada utilizada para composição do traço das argamassas atende aos requisitos da NBR 7175 (ABNT, 2003).

O material foi obtido no mercado local da cidade de Alegrete/RS e foi caracterizado conforme descrito na normativa NBR 16605 (ABNT, 2017). A média dos resultados obtidos após a realização do ensaio apresentou uma massa específica de $2,485 \text{ g/cm}^3$. Segundo Recena (2012) a massa específica da cal encontra-se na faixa de $2,5 \text{ g/cm}^3$. Portanto, o resultado obtido está próximo ao citado pelo autor.

3.2.3 Agregados

Para a confecção das argamassas foram empregados como agregado miúdo a areia natural e a areia de resíduo de PET, apresentados na Figura 4.

Figura 4 – Agregados miúdos utilizados na produção das argamassas



Fonte: Elaboração própria

Para composição da mistura foi utilizado como agregado miúdo natural a areia proveniente do rio Ibicuí/RS. Realizou-se a caracterização do material de acordo com os procedimentos recomendados pelas normas brasileiras NBR NM

248: Agregados – Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003) e NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente (ABNT, 2009).

O material que compõe a substituição parcial de agregado miúdo natural por agregado reciclado de PET, foi cedido pela empresa de reciclagem PETCEU/Paraná-PR. Assim como o agregado miúdo natural, o agregado reciclado de PET foi caracterizado conforme as normativas NBR NM 248 (ABNT, 2003) e NBR NM 52 (ABNT, 2009), para determinação da curva granulométrica e massa específica aparente, respectivamente. Vale ressaltar, que este material vem sendo utilizado por outros pesquisadores e, assim como em Duó (2017), os estudos de Jardim (2017), Vaz (2017) e Moura (2017), obtiveram a composição granulométrica dentro dos limites normativos vigentes.

3.2.3.1. Caracterização dos agregados miúdos

O procedimento de coleta e redução de amostra de campo para a amostra de laboratório da areia natural foi realizado de acordo com as prescrições das normas NBR NM 26 (ABNT, 2009) e NBR NM 27 (ABNT, 2001), respectivamente. Já o agregado reciclado de PET foi coletado pelo fabricante e encaminhado para o Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – campus Alegrete/RS.

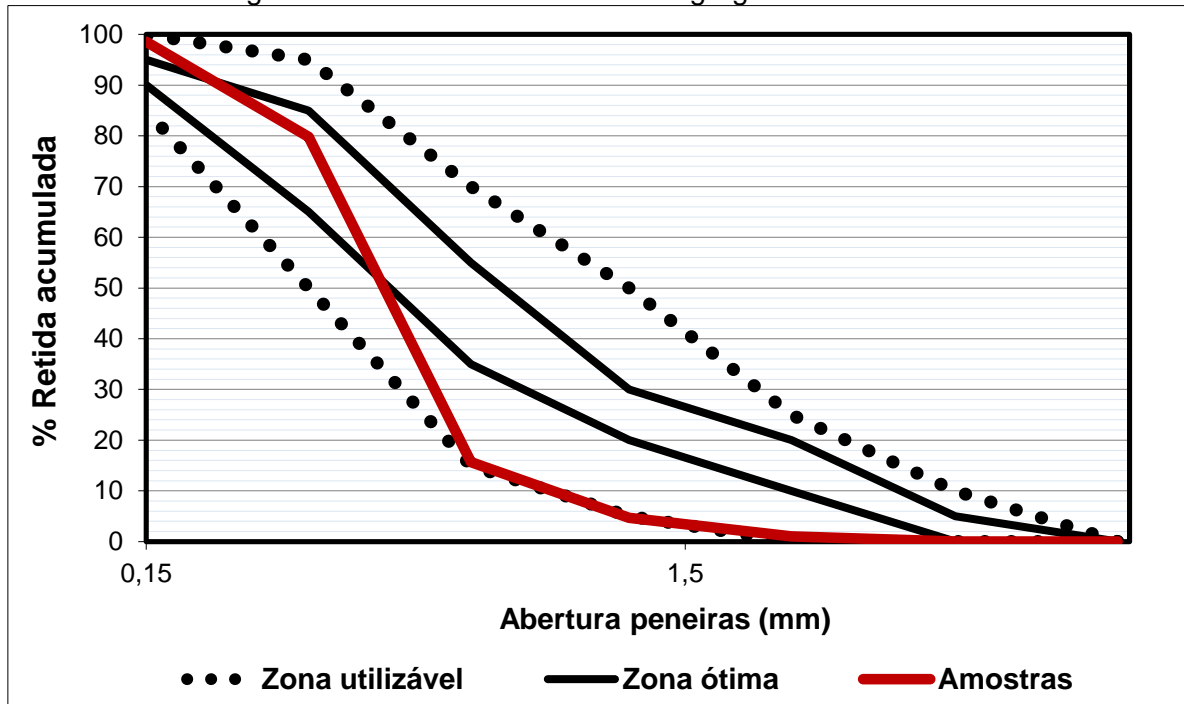
Após, os agregados foram ensaiados quanto as suas propriedades físicas (massa específica, massa unitária e granulometria), de acordo com a NM 52 (ABNT, 2009) e a NM 45 (ABNT, 2006). Os resultados obtidos quanto à caracterização dos agregados miúdos estão apresentados a seguir.

3.2.3.1.1. Granulometria dos agregados miúdos

Conforme descrito anteriormente, a granulometria dos agregados miúdos fora realizada conforme NM 248 (ABNT, 2003) e os materiais utilizados para realização do ensaio foram os seguintes: peneiras de malha metálicas (determinada pela norma NM- ISO 3310-1 (ABNT, 2010)), balança com precisão de 0,1g, estufa com temperatura ajustável de $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, bandejas e pincel de cerdas macias.

Os Gráficos 1 e 2 apresentam as curvas granulométricas os agregados natural e reciclado de PET, respectivamente.

Gráfico 1 – Curva granulométrica das amostras de agregado miúdo natural

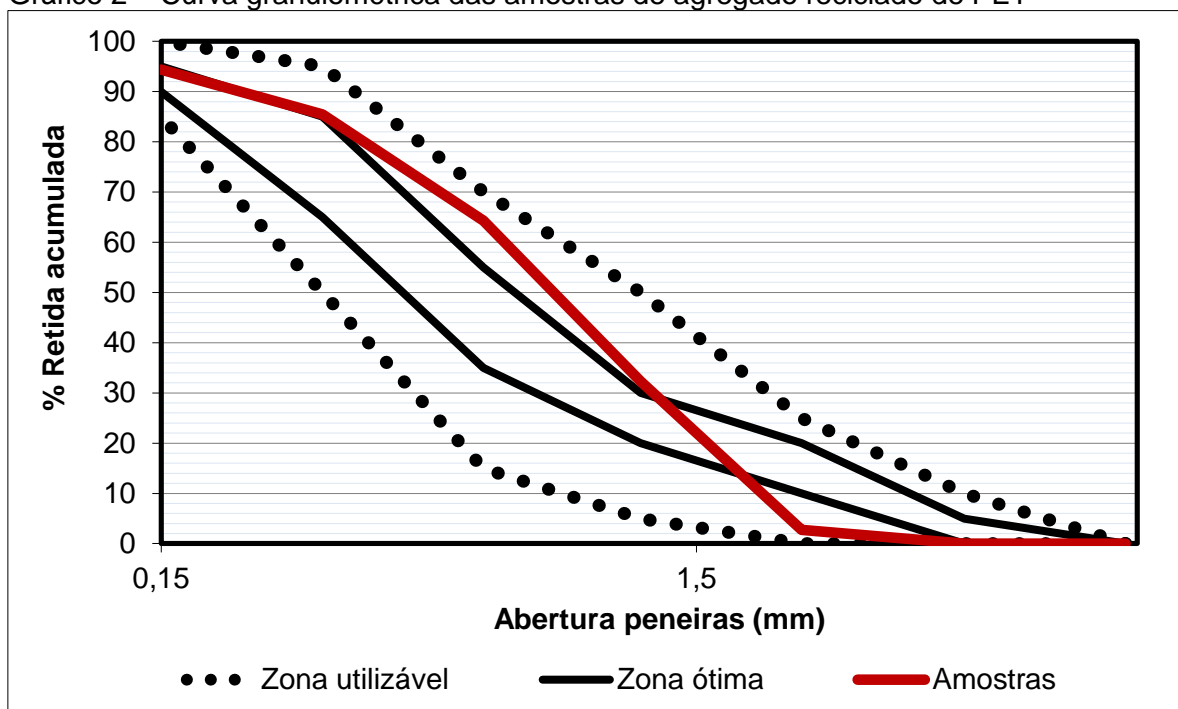


Fonte: Elaboração própria

A granulometria do agregado miúdo natural resultou em um diâmetro máximo de 1,18mm e um módulo de finura de 2,0, dados que caracterizam o agregado natural como uma areia fina de acordo com a NM 248 (ABNT, 2003). Para Bauer (2005), agregados que apresentam um módulo de finura menor que 2,0 também são classificados como finos.

Através do Gráfico 1, nota-se que a curva granulométrica da areia natural não se encontra em sua totalidade dentro da zona ótima, porém está consideravelmente dentro da zona utilizável por norma.

Gráfico 2 – Curva granulométrica das amostras de agregado reciclado de PET



Fonte: Elaboração própria

Para o agregado reciclado de PET, o diâmetro máximo obtido foi de 2,36mm e o módulo de finura de 2,79 caracterizando-o como uma areia média, de acordo com a NM 248 (ABNT, 2003) e de acordo com Bauer (2005). Para o pesquisador, agregados que apresentem módulo de finura maior que 2,0 e menor que 3,0, podem ser classificados como areia média.

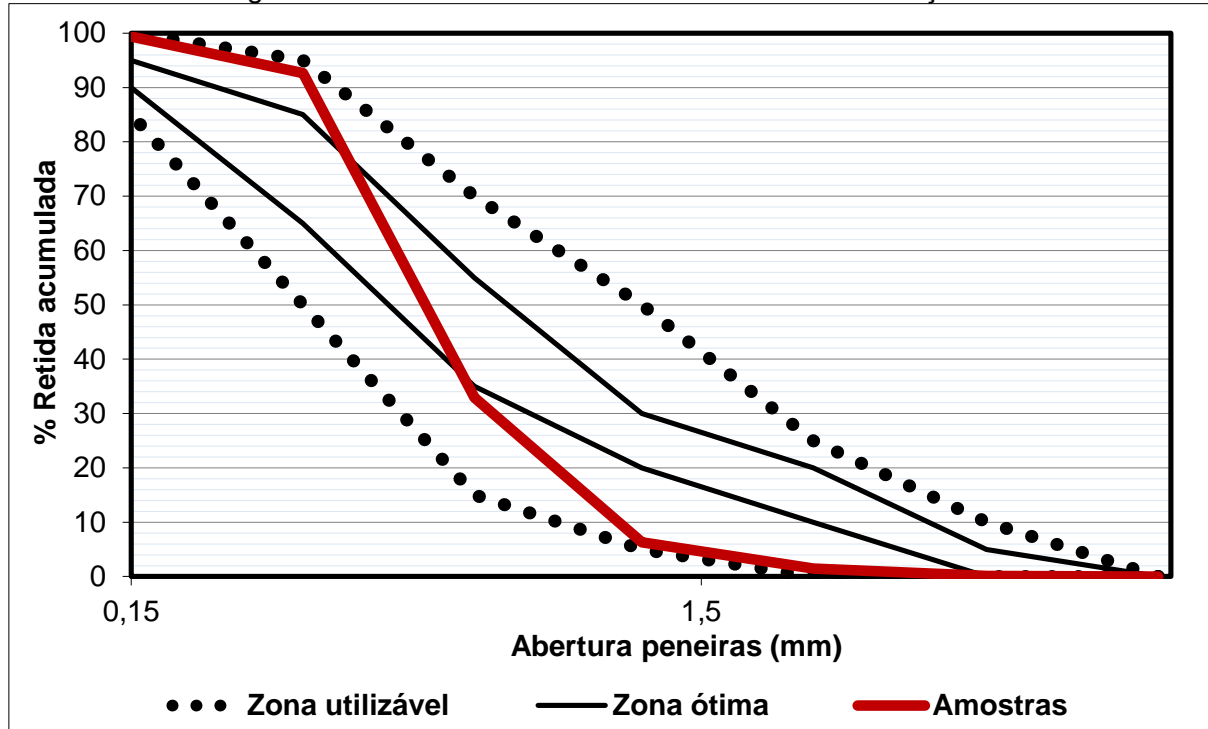
A curva granulométrica do agregado reciclado de PET se comporta de maneira similar ao agregado natural, visto que a mesma se posiciona dentro da zona utilizável, porém, em partes fora da zona ótima estipulada por norma.

Através da análise das curvas granulométricas individuais de cada agregado observa-se que ambos se encontram dentro da zona utilizável. Assim como foi observado por Duó (2017), estes resultados permitem concluir que devido às curvas granulométricas dos agregados (natural e reciclado de PET) se comportarem de maneira semelhante (atendendo os limites normativos), há uma viabilidade no estudo da substituição parcial da areia natural pelo agregado reciclado de PET. Com a substituição parcial do agregado natural pela areia de PET será possível ajustar a granulometria do agregado miúdo que compõe a mistura destinada à produção das argamassas, deixando-a enquadrada dentro dos limites normativos da zona utilizável.

3.2.3.1.2. Caracterização da composição dos agregados miúdos

A substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado reciclado de PET foi realizada em volume nas porcentagens de 5% e 15%. A granulometria dessas composições foi realizada conforme a NM 248 (ABNT, 2003), e são apresentadas nos Gráficos 3 e 4, respectivamente.

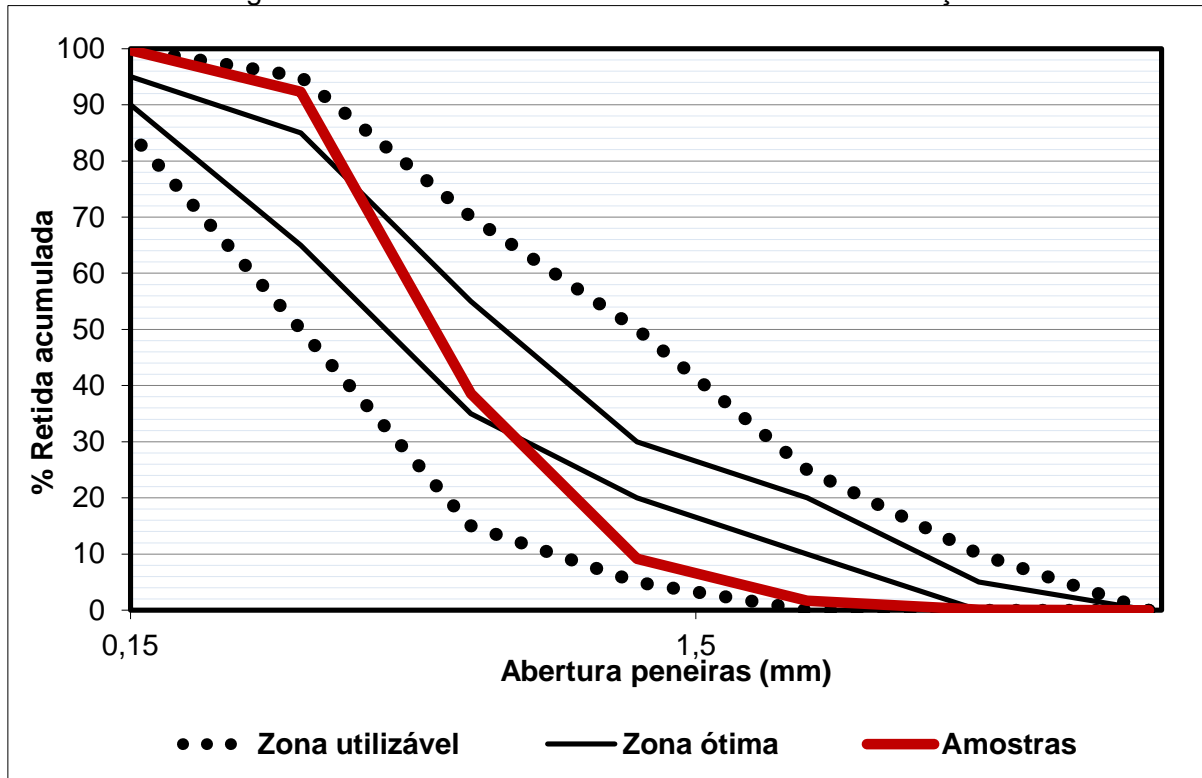
Gráfico 3 – Curva granulométrica da areia natural com 5% de substituição de areia de PET



Fonte: Elaboração própria

A composição granulométrica com 5% de substituição de agregado plástico em volume apresentou um diâmetro máximo de 4,75mm e o módulo de finura de 2,33, caracterizando-a como areia média de acordo com a NM 248 (ABNT, 2003) e de acordo com a classificação de Bauer (2005). A curva granulométrica da composição com 5% de substituição de agregado reciclado de PET apresenta-se em partes dentro da zona ótima e em sua totalidade dentro da zona de utilizável. Assim como Duó (2017), pode-se observar que a inserção do agregado reciclado de PET promove uma pequena melhora na granulometria, em relação à curva granulométrica da areia natural apresentada no Gráfico 1.

Gráfico 4 – Curva granulométrica da areia natural com 15% de substituição de areia de PET



Fonte: Elaboração própria

Assim como granulometria obtida com 5% de substituição de agregado reciclado de PET, esta composição é classificada como areia média segundo a NBR 248 (ABNT, 2003) e Bauer (2005), os resultados obtidos para diâmetro máximo e módulo de finura foram 4,75 e 2,42, respectivamente.

O Gráfico 4 demonstra comportamento semelhante entre as curvas granulométricas das composições com substituições parciais de 5% e 15%, embora seja perceptível uma melhora mais acentuada na curva com 15% de substituição, uma vez que a amostra se enquadrou adequadamente na zona utilizável. Sendo assim, a adição do agregado plástico permite que a curva da amostra se afaste ainda mais do limite inferior da zona utilizável e se aproxime dos limites da zona ótima determinada por norma.

Conforme observado Gráficos 3 e 4, a substituição do agregado reciclado de PET influencia positivamente na granulometria da areia natural, fato também constatado por Duó (2017).

3.2.3.1.3. Massa Específica e Massa Unitária

A Tabela 8 apresenta os resultados de caracterização dos agregados miúdos obtidos através dos ensaios de massa unitária NBR NM 45 (ABNT, 2006) e massa

específica NM 52 (ABNT, 2009), respectivamente. Para o agregado reciclado de PET não foi possível realizar a determinação de sua massa específica (NBR NM52) em função de o agregado apresentar uma densidade inferior à da água.

A massa unitária foi determinada para o estado compactado (método A) e estado solto (método C) para ambos agregados miúdos (areia natural e agregado reciclado de PET).

Tabela 8 – Massa específica unitária e massa específica do agregado miúdo natural e agregado reciclado de PET

| Ensaio | Amostra | | | Resultado Médio |
|---|---------|-------|-------|-----------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| Massa Unitária agregado miúdo natural Método A (g/cm ³) | 1,716 | 1,706 | 1,696 | 1,706 |
| Massa Unitária agregado miúdo natural Método C (g/cm ³) | 1,596 | 1,598 | 1,596 | 1,596 |
| Massa Específica agregado miúdo natural (g/cm ³) | 2,632 | 2,646 | - | 2,639 |
| Massa Unitária agregado reciclado de PET Método A (g/cm ³) | 0,361 | 0,371 | 0,371 | 0,368 |
| Massa Unitária agregado reciclado de PET Método C (g/cm ³) | 0,343 | 0,345 | 0,347 | 0,345 |

Fonte: Elaboração própria

3.2.4 Água

A água utilizada na produção das argamassas é proveniente da rede pública de distribuição de água potável do município de Alegrete, fornecida pela CORSAN – Companhia Riograndense de Saneamento.

3.2.5 Aditivo Incorporador de Ar

O aditivo incorporador de ar utilizado foi fornecido pela empresa Builder da cidade Cachoeirinha/RS. Este aditivo atende as prescrições das NBR 11768: Aditivos para concreto e argamassa ensaios de caracterização (ABNT, 2011).

O aditivo empregado é o PLASMIX M 313, este que segundo o catálogo do fabricante (2016), é recomendado para uso em qualquer tipo de argamassa de

cimento Portland e areia ou cimento cal e areia, destinado para aplicações em reboco interno e externo, assentamento, regularização e contrapiso.

A Tabela 9 a seguir apresenta as informações das propriedades do aditivo, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 9 – Dados técnicos do aditivo Plasmix M 313

| Aditivo Plasmix 313 | |
|----------------------------|------------------------------|
| Aspecto | Líquido |
| Cor | Marrom |
| Função | Incorporador de ar |
| Densidade a 25°C | 1,01 a 1,03 g/ml |
| Faixa de dosagem | Mínima: 0,1% Máxima: 0,8% |

Fonte: Elaboração própria

3.3 Dosagem das argamassas

As argamassas foram preparadas de acordo com a NBR 16541: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios (ABNT, 2016). Os traços foram desenvolvidos na proporção de 1:4 em volume (cimento, cal e areia).

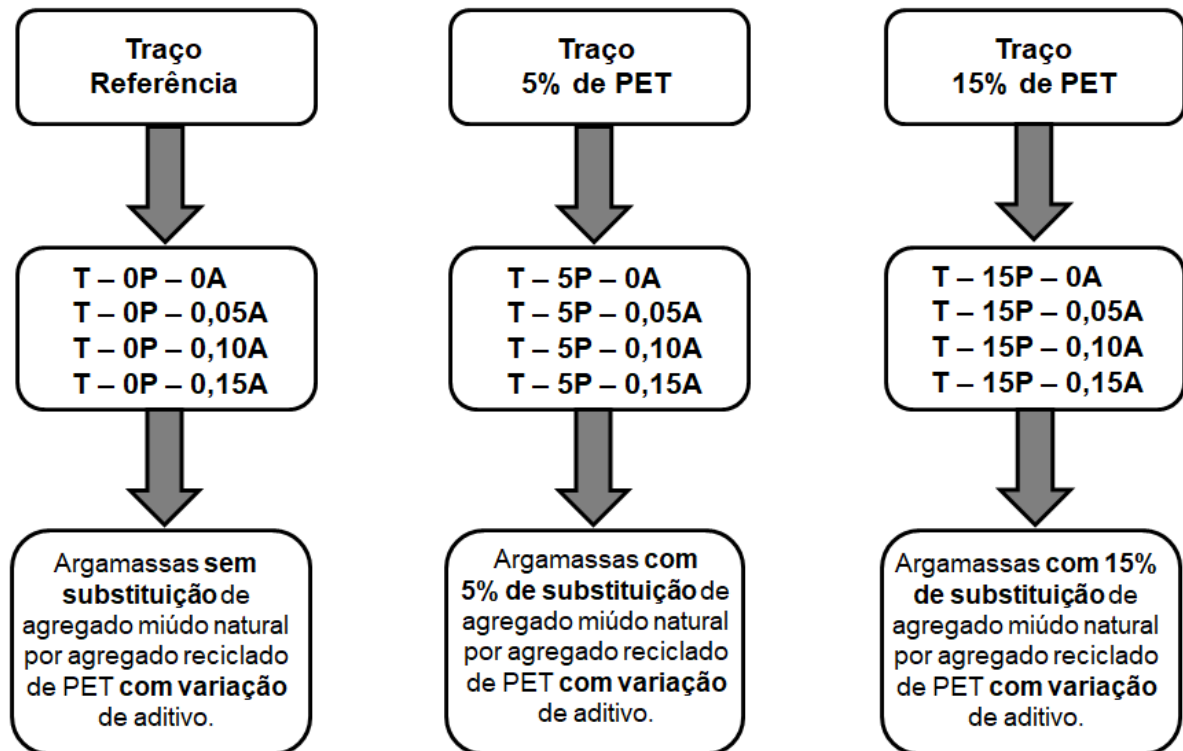
A escolha dos traços foi baseada no estudo desenvolvido por Duó (2017), sendo que para a reprodução dessa pesquisa foram selecionados os traços que apresentaram - segundo a autora - os melhores desempenhos nas propriedades mecânicas (no estado endurecido) e reológicas (no estado fresco). O traço de referência consistiu em uma argamassa convencional (1:4 em volume). Para os demais traços com agregado reciclado de PET, a substituição parcial do agregado miúdo pelo resíduo ocorreu em volume nos percentuais 5% e 15%.

A incorporação do aditivo nas argamassas foi realizada nas porcentagens de 0% (traço referência), 0,05%, 0,1% e 0,15%. Resultados apresentados por Silva *et al.* (2009) e Ottoni *et al.* (2018), afirmam que a presença do aditivo incorporador de ar colabora com o desempenho das propriedades no estado fresco, como a trabalhabilidade e, também pode proporcionar redução do consumo de água e de cimento. Para percentuais de aditivo acima de 0,15%, a sua utilização deixa desejar quanto ao desempenho mecânico das argamassas e teores acima de 0,20% não contribuem para melhorias nas propriedades das argamassas, principalmente no diz respeito às propriedades mecânicas no estado endurecido (STOLZ *et al.*, 2011; GAVA *et al.*, 2015; BELINO, 2016; MENDES *et al.*, 2017). Além disso, o fabricante

do aditivo utilizado nessa pesquisa sugere uma faixa de dosagem ideal de 0,10% a 0,8% (Tabela 9). Portanto, este histórico de resultados permite um embasamento para a escolha apropriada de teores de aditivo, fazendo com que sua utilização seja viável tanto economicamente quanto qualitativamente às argamassas, análise que será verificada nessa pesquisa.

A Figura 5 apresenta a nomenclatura e a descrição dos traços estudados nessa pesquisa.

Figura 5 – Nomenclatura e descrição dos traços estudados



Fonte: Elaboração própria

Para facilitar a interpretação da análise dos resultados os doze traços desenvolvidos foram divididos em três grupos sendo eles o Traço Referência, Traço 5% de PET e o Traço 15% de PET, onde cada um desses grupos apresenta quatro traços representativos à variação de percentual de aditivo incorporador de ar.

A quantidade de água necessária para que fosse atingida a consistência de controle (252 ± 10 mm) foi determinada experimentalmente pela execução do traço de referência (T-0P-0A), ficando estabelecida uma relação $a/c=1,45$ para o atendimento desse parâmetro. Para os demais traços, foi mantida fixa a relação água/cimento ($a/c=1,45$), considerando que toda variação que poderia ocorrer nessa propriedade teria correlação direta com outros fatores, como o teor de aditivo e o teor de PET nas misturas, além da variação da temperatura e umidade ambiente no dia da confecção

das misturas. A composição em volume dos doze traços de argamassa desenvolvidos na presente pesquisa está apresentada na Tabela 10.

Tabela 10 – Composição dos traços de argamassa desenvolvidos

| Grupo | Traço | Traço 1:4 em volume | | | | Traço Unitário | Relação a/c |
|------------|-------------|---------------------|------|-------|-----|----------------|-------------|
| | | Cimento | Cal | Areia | PET | | |
| Referência | T-P-0A | 0,75 | 0,25 | 4 | 0 | 1:0,3:5,3:0 | 1,45 |
| | T-0P-0,05A | 0,75 | 0,25 | 4 | 0 | 1:0,3:5,3:0 | 1,45 |
| | T-0P-0,10A | 0,75 | 0,25 | 4 | 0 | 1:0,3:5,3:0 | 1,45 |
| | T-0P-0,15A | 0,75 | 0,25 | 4 | 0 | 1:0,3:5,3:0 | 1,45 |
| 5% de PET | T-5P-0A | 0,75 | 0,25 | 3,8 | 0,2 | 1:0,3:5,1:0,3 | 1,45 |
| | T-5P-0,05A | 0,75 | 0,25 | 3,8 | 0,2 | 1:0,3:5,1:0,3 | 1,45 |
| | T-5P-0,10A | 0,75 | 0,25 | 3,8 | 0,2 | 1:0,3:5,1:0,3 | 1,45 |
| | T-5P-0,15A | 0,75 | 0,25 | 3,8 | 0,2 | 1:0,3:5,1:0,3 | 1,45 |
| 15% de PET | T-15P-0A | 0,75 | 0,25 | 3,4 | 0,6 | 1:0,3:4,5:0,8 | 1,45 |
| | T-15P-0,05A | 0,75 | 0,25 | 3,4 | 0,6 | 1:0,3:4,5:0,8 | 1,45 |
| | T-15P-0,10A | 0,75 | 0,25 | 3,4 | 0,6 | 1:0,3:4,5:0,8 | 1,45 |
| | T-15P-0,15A | 0,75 | 0,25 | 3,4 | 0,6 | 1:0,3:4,5:0,8 | 1,45 |

Fonte: Elaboração própria

A substituição de aditivo nos traços foi realizada em massa, em relação à massa de cimento dos traços. O agregado reciclado de PET, conforme exposto anteriormente, foi substituído em volume, em relação ao agregado miúdo natural.

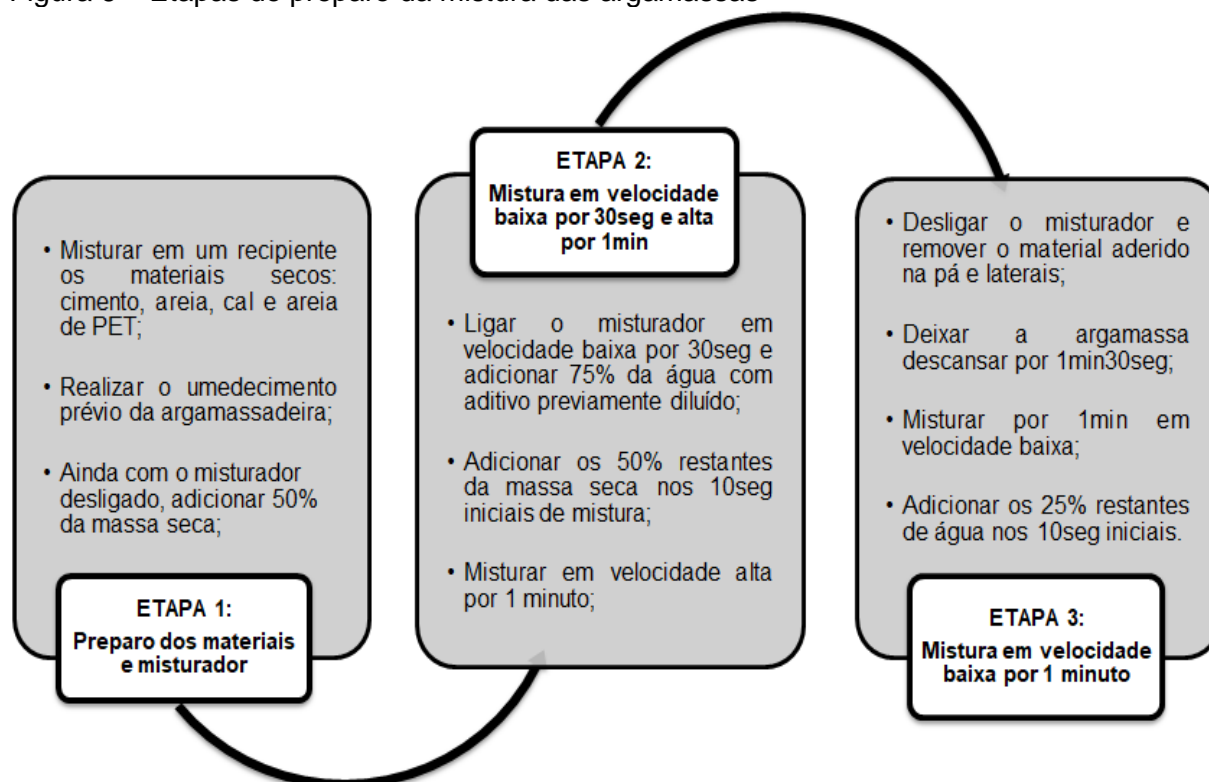
Conforme programa experimental da pesquisa (Figura 5) foram produzidos doze traços, os quais compõem a dosagem das misturas de argamassas mistas. Destes doze traços foram realizados os ensaios no estado fresco e endurecido, onde para o estado endurecido foram moldadas 72 amostras de corpos de prova de argamassa e 12 substratos padrão de concreto para aplicação das argamassas, conforme descrito no item 3.4.2.

Para manter um parâmetro de comparativo com os resultados de Duó (2017) e para a melhor condução das dosagens, foi utilizado o agregado reciclado de PET retido na malha 1,18 mm; descartando os fragmentos maiores e o pó presente no material.

3.3.1 Preparo da mistura das argamassas

Para o preparo das misturas seguiram-se as prescrições da NBR 1541 (ABNT, 2016), para produção das argamassas foi utilizado um misturador mecânico do tipo planetário. A sequência para mistura das argamassas seguiu o esquema apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Etapas de preparo da mistura das argamassas



Fonte: Elaboração própria

Vale ressaltar, que para os traços onde não há substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado de PET descarta-se a mistura da areia de PET na massa seca, realizada na Etapa 1. Já para os traços em que não há presença de aditivo incorporador de ar não ocorreu a diluição prévia do aditivo em água, sendo assim foi adicionada apenas a água nestas misturas durante o procedimento apresentado na Etapa 2.

3.3.2 Moldagem e cura dos corpos de prova

A seguir, nos itens 3.3.2.1 e 3.3.2.2 serão descritos os procedimentos realizados para a moldagem das amostras que foram utilizadas durante a execução dos ensaios de controle das propriedades do estado endurecido aos 28 dias.

3.3.2.1 Corpos de prova prismáticos

Para cada traço foram moldados seis corpos de prova prismáticos, estas amostras foram utilizadas para execução dos ensaios de controle das propriedades do estado endurecido (ensaios de absorção de água, resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial) na idade de controle de 28 dias.

A moldagem foi realizada de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005). Neste procedimento, foram utilizados moldes prismáticos metálicos com dimensões de (4x4x16) cm, estes moldes apresentam três compartimentos acoplados que servem de formas para três corpos de prova.

A desforma dos corpos de prova foi realizada após 48 horas de cura em condições ambiente e, em seguida, os corpos de provas prismáticos foram submetidos à cura ao ar. As etapas para moldagem dos corpos de prova estão apresentadas no esquema do Quadro 1.

Quadro 1 – Preparo dos corpos de prova prismáticos

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| <p>1. Preparo do molde e aplicação de desmoldante.</p> | <p>2. Aplicação da 1ª camada de argamassa e rasamento.</p> | <p>3. Aplicação de 30 quedas na mesa de adensamento.</p> |
|  |  |  |
| <p>4. Aplicação da 2ª camada de argamassa e rasamento com régua metálica.</p> | <p>5. Aplicação de 30 quedas na mesa de adensamento.</p> | <p>6. Após 48h desmoldar os e reservar para cura ambiente de 28 dias.</p> |

Fonte: Elaboração própria

3.3.2.2 Substrato padrão

O substrato padrão foi confeccionado e ensaiado de acordo com os procedimentos no Anexo B da NBR 1408-2 (ABNT, 2015).

As placas de concreto foram moldadas para aplicação dos doze traços de argamassa sobre o substrato padrão, a fim de realizar a análise da funcionalidade de diferentes argamassas através do ensaio de absorção de água por capilaridade pelo método do cachimbo e ensaio de resistência potencial de aderência à tração.

Para moldagem das placas de concreto foram utilizados gabaritos de madeira como formas, mesa vibratória, sarrafo de madeira para acabamento final e betoneira para concretagem.

Após 28 dias de cura do substrato em câmara úmida, foi realizada a aplicação de ± 2 cm de argamassa, obedecendo às orientações normativas. Este procedimento ocorreu através do posicionamento das placas sobre superfície plana e com auxílio do gabarito de madeira foi conferida a aplicação da argamassa sobre o substrato.

Primeiramente, foi realizada a limpeza inicial do substrato, umedecimento prévio com água, imprimação da argamassa sobre o substrato e posterior aplicação. Por fim, foi realizado o desempenho da superfície com sarrafo de madeira para finalização da aplicação.

O Quadro 2 apresenta o processo de produção destes substratos de concreto e da aplicação da argamassa sobre eles, os substratos apresentam dimensões de 25 cm x 50 cm e espessura de 40 mm.

Quadro 2 – Preparo do substrato padrão para ensaio de resistência potencial de aderência à tração

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| <p>1. Moldagem e cura de 28 dias do substrato padrão.</p> | <p>2. Posicionamento da placa no gabarito de madeira.</p> | <p>3. Realização da limpeza e o umedecimento do substrato.</p> |
|  |  |  |
| <p>4. Aplicar desmoldante.</p> | <p>5. Preparo da mistura de argamassa.</p> | <p>6. Realização da imprimação da argamassa no substrato.</p> |
|  |  |  |
| <p>7. Aplicação de ± 2cm de argamassa sobre o substrato padrão.</p> | <p>8. Finalização da superfície com sarrafo de madeira.</p> | <p>9. Cura da argamassa aos 28 dias.</p> |

Fonte: Elaboração própria

3.4 Ensaios de controle das propriedades no estado fresco

Os ensaios de controle das propriedades das argamassas no estado fresco foram realizados logo após a dosagem das misturas para cada um dos doze traços de argamassa, que são:

- Índice de consistência;
- Densidade de massa;
- Teor de ar incorporado;
- Retenção de água.

A descrição de cada um dos ensaios está exibida nos itens 3.4.1 a 3.4.3. Estes ensaios foram executados em laboratório de acordo com as suas normativas, respeitando condições de ambiente com temperatura e umidade relativa do ar estipuladas por norma, sendo respectivamente de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e $60\pm 5\%$.

3.4.1 Índice de consistência

A determinação do índice de consistência foi realizada logo após o preparo das argamassas, este ensaio seguiu as prescrições da NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência (ABNT, 2016). Para execução deste ensaio foram utilizados os materiais ilustrados no Quadro 3: mesa para índice de consistência, molde tronco cônico, soquete metálico e régua metálica.

Primeiramente foi realizado o umedecimento prévio da mesa e do molde, em seguida com o molde centralizado sobre a mesa o mesmo foi preenchido com argamassa. O preenchimento ocorreu em três camadas, sendo aplicado em cada uma delas 15 (quinze), 10 (dez) e 5 (cinco) golpes com o soquete. O material excedente foi removido e realizou-se o rasamento da amostra com a régua metálica. A seguir, o molde foi removido e foram conferidas 30 (trinta) quedas na mesa de adensamento, a manivela foi acionada de forma que fosse realizada uma queda por segundo, completando ao total 30 (trinta) segundos. Por fim, efetuou-se a leitura do espalhamento da argamassa com uma régua metálica. A leitura das amostras consiste em três medidas de diâmetros diferentes ao longo do perímetro, todas as etapas efetuadas neste ensaio estão demonstradas no Quadro 3.

Quadro 3 – Etapas da execução do ensaio para determinação do índice de consistência

| | |
|---|--|
|  |  |
| <p>1. Preparo dos materiais para ensaio, preenchimento do molde e aplicação dos golpes.</p> | <p>2. Rasamento da última camada, retirar o molde metálico e aplicar 30 quedas na mesa de adensamento.</p> |
|  | |
| <p>3. Realização da leitura de três medidas do diâmetro para obter a média.</p> | |

Fonte: Elaboração própria

Este ensaio foi realizado a fim de estudar a influência do teor aditivo na consistência das argamassas estudadas.

3.4.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O ensaio para determinação da densidade de massa das argamassas foi orientado pelas diretrizes da NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado (ABNT, 2005).

Para execução deste ensaio foram utilizados os seguintes materiais: balança com resolução de 0,1g, recipiente cilíndrico em aço inoxidável calibrado com

capacidade aproximada de 400 ml, espátula metálica de material não absorvente com bordas retas e cabo de madeira e régua metálica.

Primeiramente, foi determinado o volume do recipiente cilíndrico vazio (v_r) através do registro de sua massa (m_v) e, logo após o preparo da argamassa realizou-se o umedecimento do molde com água para execução do ensaio. Para isto foram adicionadas três camadas de argamassa no molde sendo aplicados vinte golpes ao longo do perímetro com a espátula metálica na posição vertical, de forma que o fundo do recipiente não fosse alcançado.

Após, realizou-se o rasamento da última camada e foram conferidos cinco golpes ao redor da parede externa do recipiente a fim de eliminar os vazios presentes entre a argamassa e a parede do recipiente. Por fim, registrou-se a massa do recipiente cheio de argamassa (m_c).

A densidade de massa (D) em g/cm^3 foi determinada através da Equação 1:

$$D = \frac{M_c - M_v}{V_r} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

D = Densidade de massa em gramas por centímetros cúbicos (g/cm^3);

M_c = Massa do recipiente cilíndrico com a argamassa, em gramas (g);

M_v = Massa do recipiente cilíndrico vazio em gramas (g);

V_r = Volume do recipiente cilíndrico em centímetros cúbicos (cm^3).

A partir da determinação da densidade de massa foi possível calcular o teor de ar incorporado das argamassas através da Equação 2:

$$A = 100 \times \frac{D}{D_t} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

A = teor de ar incorporado na argamassa expresso em (%);

D = Densidade de massa obtida em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);

D_t = Densidade de massa teórica da argamassa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

A determinação da densidade de massa teórica foi realizada através da Equação 3:

$$D_t = \frac{\sum M_i}{\sum \gamma_i} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

D_t = Densidade de massa teórica da argamassa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3);

M_i = Massa seca de cada componente da argamassa, incluindo a massa de água em gramas (g);

γ_i = densidade de massa de cada componente da argamassa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

As etapas de execução do ensaio de determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporador das argamassas estão expostos no Quadro 4.

Quadro 4 – Etapas da execução do ensaio para determinação da densidade de massa no estado fresco

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| <p>1. Medir volume do recipiente.</p> | <p>2. Adicionar três camadas de argamassa no recipiente e aplicar 20 golpes em cada uma delas.</p> | |
|  |  |  |
| <p>3. Realizar o rasamento da última camada e a remoção dos vazios existentes.</p> | <p>4. Registrar a massa final em gramas.</p> | |

Fonte: Elaboração própria










3.4.3 Retenção de água

A realização do ensaio para determinação do índice de retenção de água das argamassas teve como referência as indicações da normativa NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água (ABNT, 2005). Para este ensaio foram necessários os seguintes materiais: funil de buchner, bomba de vácuo, discos de papel filtro com diâmetro de 200 mm, soquete metálico, régua metálica, balança com resolução de 0,1g, cronometro e termo higrômetro digital.

Com o prato e o papel filtro devidamente posicionados sobre o funil, realiza-se o umedecimento do mesmo e aplica-se uma sucção de 51 mm de mercúrio no conjunto funil/papel filtro úmido por 90 segundos, após é registrada a primeira massa (mv) do conjunto funil-filtro úmido. Em seguida, realiza-se o preenchimento do prato com argamassa até pouco acima da borda, a amostra foi adensada com 37 golpes de soquete, sendo 16 golpes aplicados uniformemente junto à borda e 21 golpes aplicados em pontos uniformemente distribuídos na parte central. Após esta etapa, o excesso de argamassa é removido do prato conferindo uma superfície plana e, com isso, o conjunto funil/argamassa é pesado e registra-se a massa (ma). Por fim, aplica-se sucção no conjunto funil/argamassa por 15 minutos e registra-se a massa (ms).

Este ensaio foi iniciado no máximo quinze minutos após o término da mistura e o detalhamento das etapas de execução está apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Etapas da execução do ensaio para determinação da retenção de água

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 1. Preparar o conjunto. | 2. Umedecer o papel filtro e aplicar sucção por 90 segundos. | 3. Registrar a massa (mv). |
|  |  |  |
| 4. Preencher o prato com argamassa. | 5. Aplicação dos golpes externos e centrais. | 6. Rasamento da amostra com régua. |
|  |  |  |
| 7. Registrar massa com argamassa (ma). | 8. Aplicar 15 minutos de sucção no conjunto funil/ argamassa. | 9. Registrar massa após sucção (ms). |

Fonte: Elaboração própria

A determinação da retenção de água (R_a) ocorreu através da Equação 4:

$$R_a = \left[1 - \frac{(ma - ms)}{AF (ma - mv)} \right] \times 100$$

Equação 4

Sendo:

$$AF = \frac{mw}{m+mw} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

Ra = Retenção de água expressa em (%);

AF = Fator água/argamassa fresca;

Ma = Massa do conjunto com argamassa em gramas (g);

Ms = Massa do conjunto com argamassa após a sucção em gramas (g);

Mv = Massa do conjunto vazio em gramas (g);

Mw = Massa total de água acrescentada na mistura em gramas (g);

M = Massa de argamassa industrializada ou soma dos componentes anidros no caso de argamassa dosada em obra, em gramas (g).

3.5 Ensaios de controle das propriedades no estado endurecido

Foram realizados os seguintes ensaios para controle das propriedades no estado endurecido:

- Densidade de massa;
- Absorção de água por capilaridade;
- Absorção de água pelo Método do Cachimbo;
- Resistência à tração na flexão;
- Resistência à compressão axial;
- Resistência de Aderência à tração.

A descrição individual de cada um destes ensaios está apresentada nos itens 3.5.1 a 3.5.6.

3.5.1 Densidade de massa

O ensaio de determinação da densidade de massa no estado endurecido foi executado aos 28 dias, de acordo com as diretrizes normativas da NBR 13280 - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido (ABNT, 2005).

Para realização deste ensaio foram utilizados seis corpos de prova prismáticos nas dimensões 4x4x16 centímetros, totalizando 72 amostras, conforme exposto na Figura 7.

Figura 7 – Corpos de prova prismáticos ensaiados no estado endurecido



Fonte: Elaboração própria

Durante a execução do ensaio foi utilizada uma balança com resolução mínima de 0,01g, através dela registraram-se as massas em gramas dos corpos de prova.

A densidade de massa no estado endurecido foi determinada através da Equação 8:

$$D = \frac{M}{V} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

D = Densidade de massa no estado endurecido em gramas por centímetros cúbicos (g/cm³);

M = Massa do corpo de prova após a cura de 28 dias em gramas (g);

V = Volume do corpo de prova prismático em centímetros cúbicos (cm³).

3.5.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água foi executado conforme orientações descritas pela normativa NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade (ABNT, 2005).

Para determinação da absorção de água, seis amostras de cada um dos doze traços (72 corpos de prova), foram submetidos ao ensaio de absorção por capilaridade 28 dias após a moldagem. Através deste ensaio também foi determinado o coeficiente de capilaridade de cada argamassa estudada.

Os equipamentos utilizados foram: balança com resolução mínima de 0,01 g e capacidade mínima de 500 g, cronômetro, recipiente destinado a armazenar os




corpos-de-prova, material para selar as amostras e suporte para posicionamento dos corpos de prova.

Para evitar que quaisquer respingos de água viessem a interferir nos resultados, 48h antes da realização do ensaio os corpos de prova foram impermeabilizados com duas demãos de verniz em todas as suas faces, exceto a que entraria em contato com a água.

O ensaio consistiu em pesar a massa inicial (m_i) em gramas das amostras, e em seguida posicioná-las sobre o suporte já fixado no recipiente de ensaio com nível da água constante de 5 ± 1 mm acima da face em contato com a água. Imediatamente após o contato com a água o cronômetro foi acionado e as amostras foram pesadas nos intervalos de dez, sessenta e noventa minutos para registro das massas (m_{10}), (m_{60}) e (m_{90}) em gramas.

As amostras foram enxugadas com pano úmido antes dos registros de massa e após as pesagens os corpos de prova foram novamente posicionados no recipiente de ensaio. As etapas para realização do ensaio descritas acima estão expostas no Quadro 6.

Quadro 6 – Etapas da execução do ensaio de absorção de água por capilaridade

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| <p>1. Selar o corpo de prova 48h pré ensaio.</p> | <p>2. Registrar a massa inicial em gramas.</p> | <p>3. Imersão das amostras em água.</p> |
|  |  |  |
| <p>4. Retirar a amostra e registrar a massa m_{60}.</p> | <p>5. Colocar as amostras novamente no recipiente.</p> | <p>6. Repetir o processo até completar 90min.</p> |

Fonte: Elaboração própria

Por fim, determinaram-se os resultados de absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade das amostras. A absorção de água foi obtida através da Equação 6.

$$At = \frac{mt - mi}{16} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

At = Absorção de água por capilaridade, em gramas por centímetro ao quadrado (g/cm²);

Mt = Massa do corpo de prova em cada tempo, em gramas (g);

Mi = Massa inicial do corpo de prova, em gramas (g)

16 = Área da face em contato com a água, em centímetros quadrados (cm²).

O coeficiente de capilaridade (C) é igual ao coeficiente angular da reta que passa pelos pontos representativos das determinações realizadas aos 10 min e aos 90 min, considerando-se como:

- Abcissa: raiz do tempo em minutos (min);
- Ordenada: a absorção de água por capilaridade, em gramas por centímetro quadrado.

Portanto, o coeficiente de capilaridade foi determinado através da Equação 7:

$$C = \frac{m90 - m10}{t} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

C = Coeficiente de capilaridade em gramas por decímetro quadrado pela raiz quadrada de minuto (g/dm².min^{1/2});

M90 = Massa em gramas do corpo de prova no tempo de noventa minutos;

M10 = Massa em gramas do corpo de prova no tempo de dez minutos.

Foram determinados três coeficientes de capilaridade para cada intervalo de tempo medido, que são: C 60-10, C 90-10 e C90-60.

A realização deste ensaio permite caracterizar a influência do aditivo incorporador de ar no reforço da impermeabilidade das argamassas, através do preenchimento parcial dos poros permeáveis.

3.5.3 Absorção de água pelo Método do Cachimbo

A capacidade de estanqueidade das argamassas foi avaliada através do ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo. Este método foi desenvolvido pelo *Centre Scientifique et Technique de La Construction* - CSTC e pela *Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches* - RILEM. Foram confeccionadas e revestidas doze placas para serem submetidas a ensaio aos 28 dias de cura da argamassa.

Através deste ensaio avaliou-se a absorção de água do revestimento argamassado submetido a uma pressão, esta que é exercida por uma coluna de água aderida à amostra com auxílio de tubos de vidro, denominados tubos de *Carsten*.

Os materiais utilizados para realização deste ensaio foram: cachimbo de vidro confeccionado conforme recomendações da CSTC, pisseta plástica, cronômetro e material para fixação do cachimbo na argamassa.

Inicialmente foi realizada a limpeza da superfície para fixação do cachimbo com silicone, após a secagem a água foi inserida no cachimbo com o auxílio da pisseta até o nível de referência (zero ml) e, imediatamente o cronômetro foi acionado.

Cada placa foi ensaiada em dois pontos diferentes, a leitura do nível da água foi registrada nos intervalos de zero, cinco, dez e quinze minutos de ensaio. A Figura 8 apresenta o procedimento de execução deste ensaio.

Figura 8 – Execução do ensaio de absorção de água por capilaridade pelo método do cachimbo



Fonte: Elaboração própria

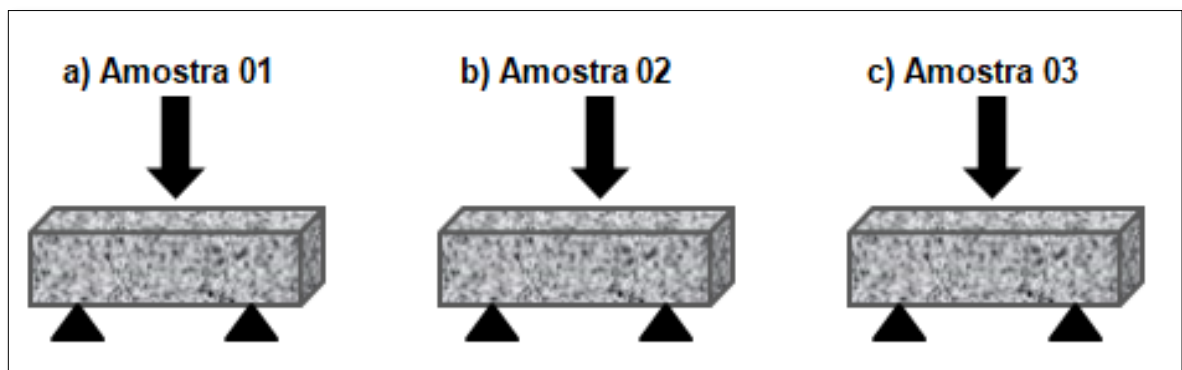
De acordo com Temp (2014) a realização deste ensaio permite simular o mecanismo de impermeabilização e durabilidade de um revestimento argamassado, o que possibilita uma análise comparativa de valores teóricos com dados práticos obtidos no canteiro de obras.

3.5.4 Resistência à tração na flexão

Para realização do ensaio de resistência à tração na flexão, foram utilizadas seis amostras prismáticas (4x4x16cm), conforme esquema apresentado na Figura 9, estas amostras foram submetidas a ensaio aos 28 dias, segundo as diretrizes da NBR 13279 (ABNT, 2005).

Para realização deste ensaio utilizou-se a prensa modelo EMIC DL 20000, com velocidade de aplicação de carregamento de 3mm/min.

Figura 9 – Representação esquemática do ensaio de tração na flexão



Fonte: Elaboração própria

A seção 4x4cm do corpo de prova foi apoiada no equipamento de ensaio e aplicada uma carga de 50±10N/s até a ruptura. O cálculo da resistência à tração na flexão foi realizado através da Equação 9.

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times L}{40^3} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

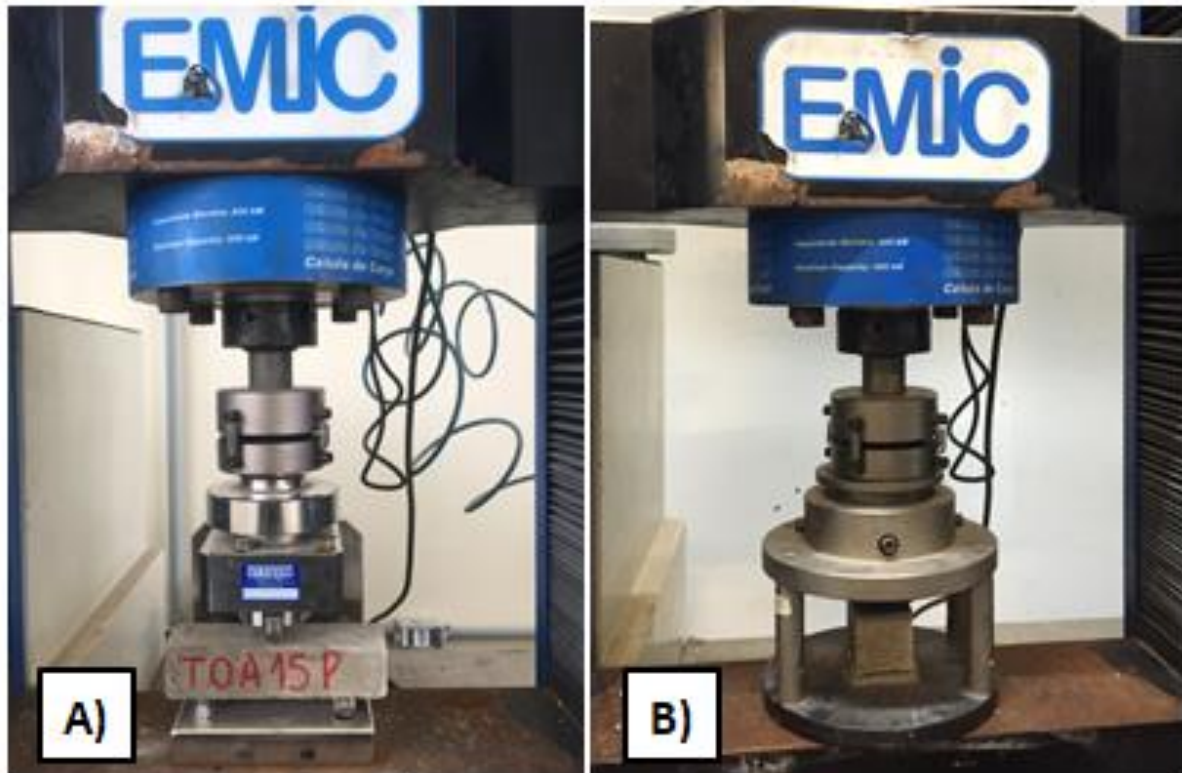
R_f = Resistência à tração na flexão, em megapascal (MPa);

F_f = Carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons (N);

L = Distância entre os suportes, em milímetros (mm);

As amostras submetidas ao ensaio de resistência a tração na flexão estão expostas na Figura 12 no item 3.4.5 e o equipamento utilizado está representado na Figura 10-A.

Figura 10 – Representação dos dispositivos utilizados durante os ensaios mecânicos: (A) Ensaio de tração na flexão; (B) Ensaio de compressão axial

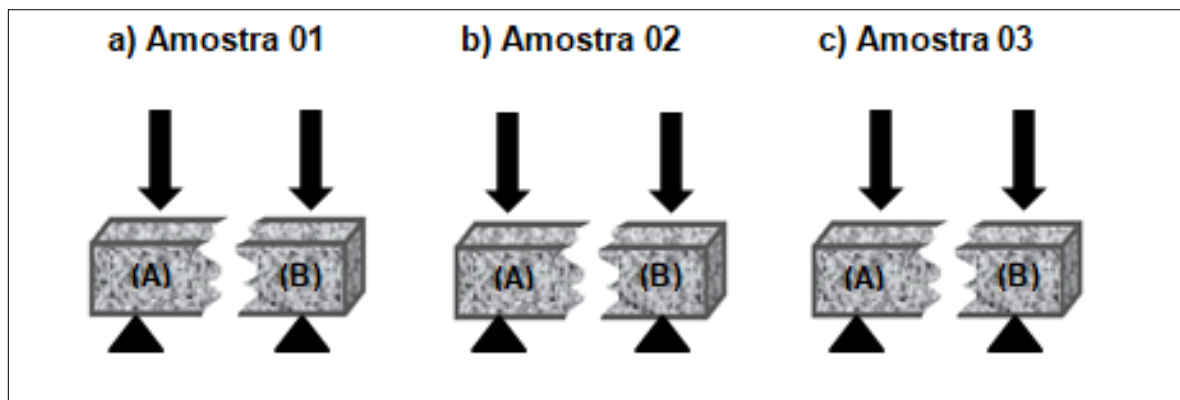


Fonte: Elaboração própria

3.4.5 Resistência à compressão axial

Após a execução do ensaio de resistência à tração na flexão (Figura 9), as metades de cada uma das amostras foram submetidas ao ensaio de resistência à compressão axial (Figura 11), totalizando seis amostras por traço para cada idade de controle aos 28 dias.

Figura 11 – Representação esquemática do ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: Elaboração própria

O ensaio foi executado segundo a normativa NBR 13279 (ABNT, 2005) e o equipamento utilizado está indicado na Figura 10 - B no item 3.5.4. A seção 4x4 cm do corpo de prova recebeu uma carga com uma taxa de 500 ± 50 N/s até o momento da ruptura. O cálculo da resistência à compressão axial foi realizado através da Equação 10.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

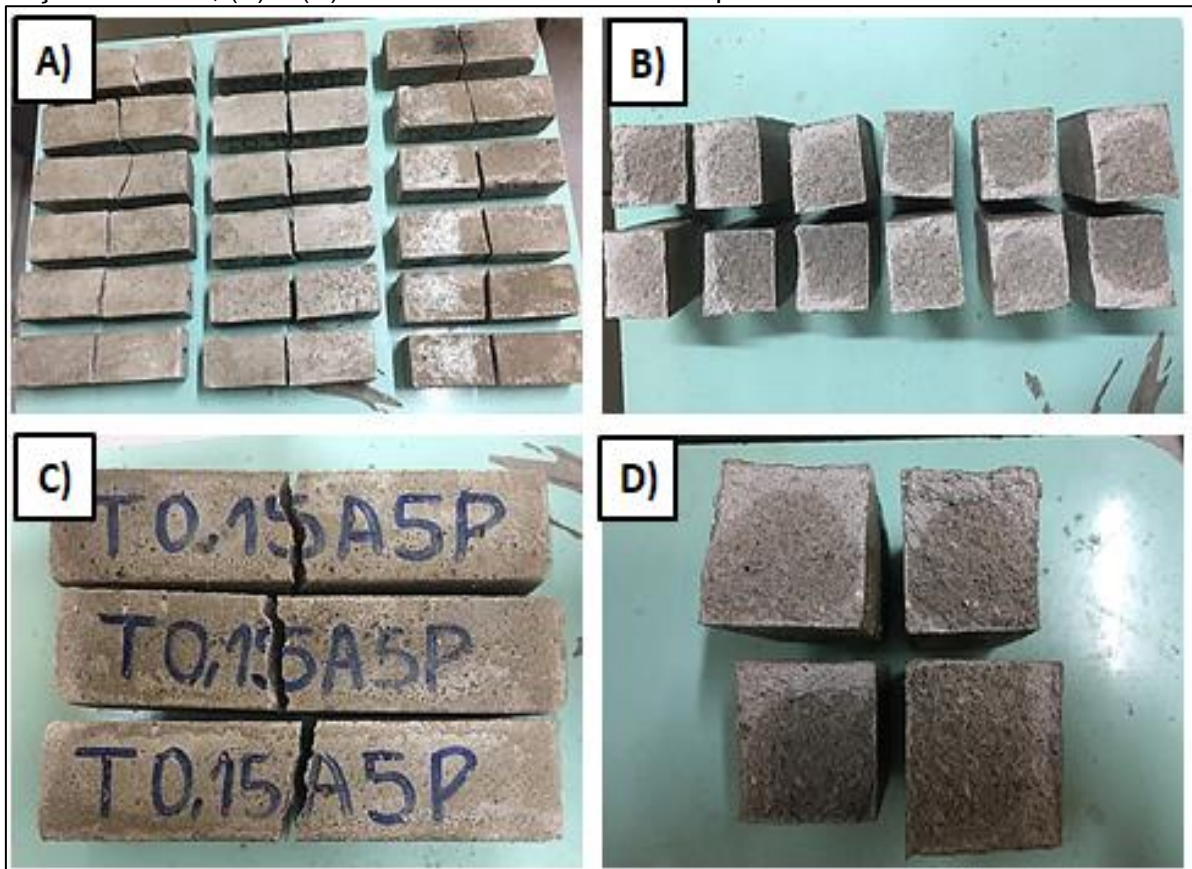
R_c = Resistência à compressão axial, em megapascals (MPa);

F_c = Carga máxima aplicada, em newtons (N);

1600 = Área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga 40x40mm; em milímetros quadrados (mm²).

A Figura 12 apresenta as amostras após a realização dos ensaios mecânicos.

Figura 12 – Amostras ensaiadas no estado endurecido: (A) e (C) Ensaio de resistência à tração na flexão; (B) e (D) Ensaio de resistência à compressão axial



Fonte: Elaboração própria

3.4.6 Resistência potencial de aderência à tração

A determinação da resistência de aderência à tração foi realizada de acordo com a NBR 15258: Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração (ABNT, 2005).

Os corpos de prova submetidos a este ensaio foram confeccionados de acordo com a NBR 1408-2 (ABNT, 2015), o procedimento de moldagem está descrito no item 3.3.2.2.

Para realização deste ensaio foram utilizados os seguintes equipamentos: régua metálica para demarcar os substratos, serra copo, gabarito de madeira para acoplamento da serra copo, pincel, resina epóxi, paquímetro, pastilhas metálicas não deformáveis com aproximadamente 50 mm de diâmetro e espessura mínima de 5 mm com dispositivo no centro para conectá-la ao equipamento de arrancamento à tração e dispositivo que permita a aplicação contínua de carga, possuindo articulação para assegurar a aplicação do esforço de tração simples e apresente dispositivo para leitura da carga.

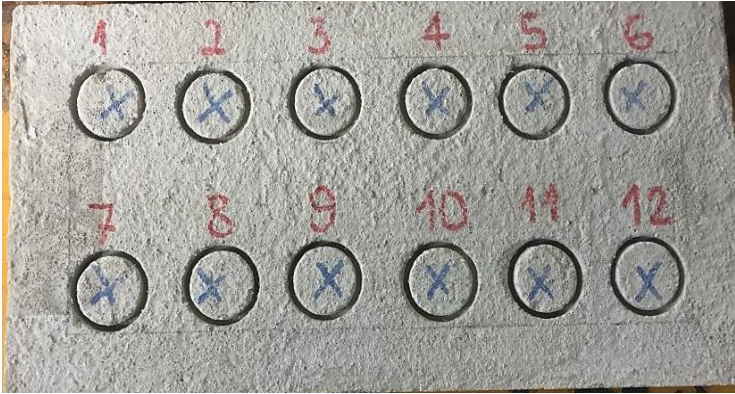





Os substratos foram submetidos à cura de 28 dias mantidos à temperatura ambiente em posição horizontal, conforme orientações prescritas pela NBR 15258 (ABNT, 2005).

Para cada traço de revestimento foram executados 12 corpos de prova circulares, demarcados a partir dos três dias que antecedem a cura de 28 dias das amostras, a demarcação foi efetuada com serra copo obedecendo às prescrições normativas e mantendo o espaçamento de 4 cm das bordas do substrato e 2 cm entre as amostras. Após o corte do revestimento, foram coladas com resina epóxi as pastilhas sobre o substrato, obedecendo à espera para secagem de acordo com as prescrições do fabricante, neste caso o tempo de secagem foi de aproximadamente 24 horas.

A seguir, realizou-se a aplicação do esforço de tração, onde o aparelho de arrancamento foi acoplado à pastilha, este esforço foi executado perpendicular à seção transversal das amostras. O esforço apresentou taxa de carregamento a ser definida conforme ocorreu a ruptura dos corpos de prova, com isso, a carga de ruptura foi registrada, mediram-se três diâmetros das amostras e analisaram-se as formas de ruptura obtidas.

No Quadro 7 apresentam-se as etapas de execução deste ensaio.

Quadro 7 – Etapas da execução do ensaio de resistência de aderência à tração

| | |
|--|---|
|  |  |
| 1. Demarcar as 12 amostras no substrato com serra copo; | 2. Limpeza do substrato; |
|  |  |
| 3. Aplicar camada de resina epóxi na pastilha, pressionar a pastilha sobre o substrato e aguardar a secagem da cola; | 4. Acoplar o equipamento de ensaio; |
|  |  |
| 5. Realizar o ensaio nas 12 amostras, anotar a carga aplicada e a forma de ruptura identificada; | 6. Realizar três medidas de diâmetro da amostra. |

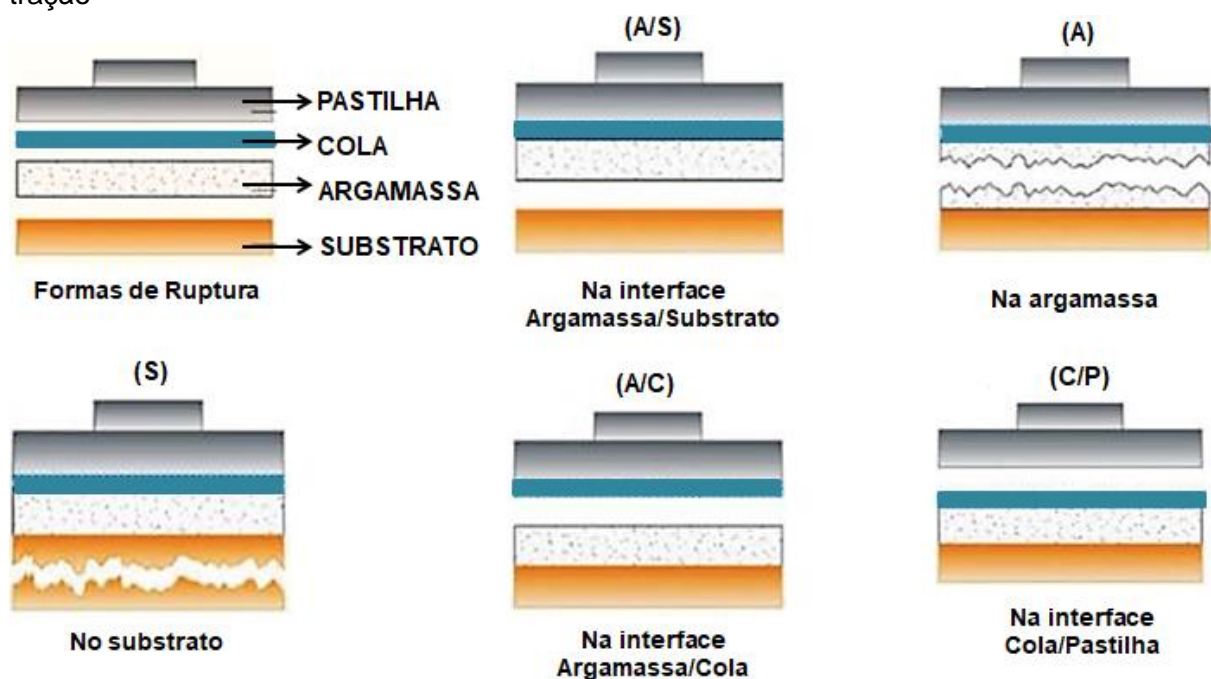
Fonte: Elaboração própria

As formas de ruptura das amostras são:

- **S** – Ruptura no substrato;
- **A** – Ruptura na argamassa;
- **S/A** – Ruptura na interface substrato/argamassa;
- **A/C** – Ruptura na interface argamassa/cola;
- **C/P** – Ruptura na interface cola/pastilha.

As formas de ruptura descritas acima estão apresentadas em esquema na Figura 13.

Figura 13 – Representação esquemática das formas de ruptura do ensaio de aderência à tração



Fonte: Adaptado de Barreto e Brandão (2014) e NBR 13528 (ABNT, 2005)

Por fim, foi efetuado o cálculo da aderência à tração através da Equação 11:

$$Ra = \frac{Pi}{Ai} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

Ra = Resistência potencial de aderência à tração, em megapascals (MPa);

Pi = Carga de ruptura, em Newton (N);

Ai = Área da pastilha, em milímetros quadrados (mm²).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos quanto ao comportamento das argamassas em seu estado fresco e endurecido. Com isso, será realizada a quinta etapa do programa experimental, a qual compõe a análise dos resultados desta pesquisa.

4.1 Resultados do controle das propriedades

Nos itens 4.1.1 a 4.1.6 serão apresentados os resultados dos ensaios realizados nas argamassas conforme apresentado na metodologia. Primeiramente serão descritos os resultados dos ensaios no estado fresco (índice de consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado e retenção de água), determinados logo após o processo de mistura. Em seguida, serão apresentados os resultados dos ensaios no estado endurecido (densidade de massa, absorção de água, resistências à tração na flexão, compressão e aderência à tração), realizados após a cura dos traços.

4.1.1 Índice de Consistência

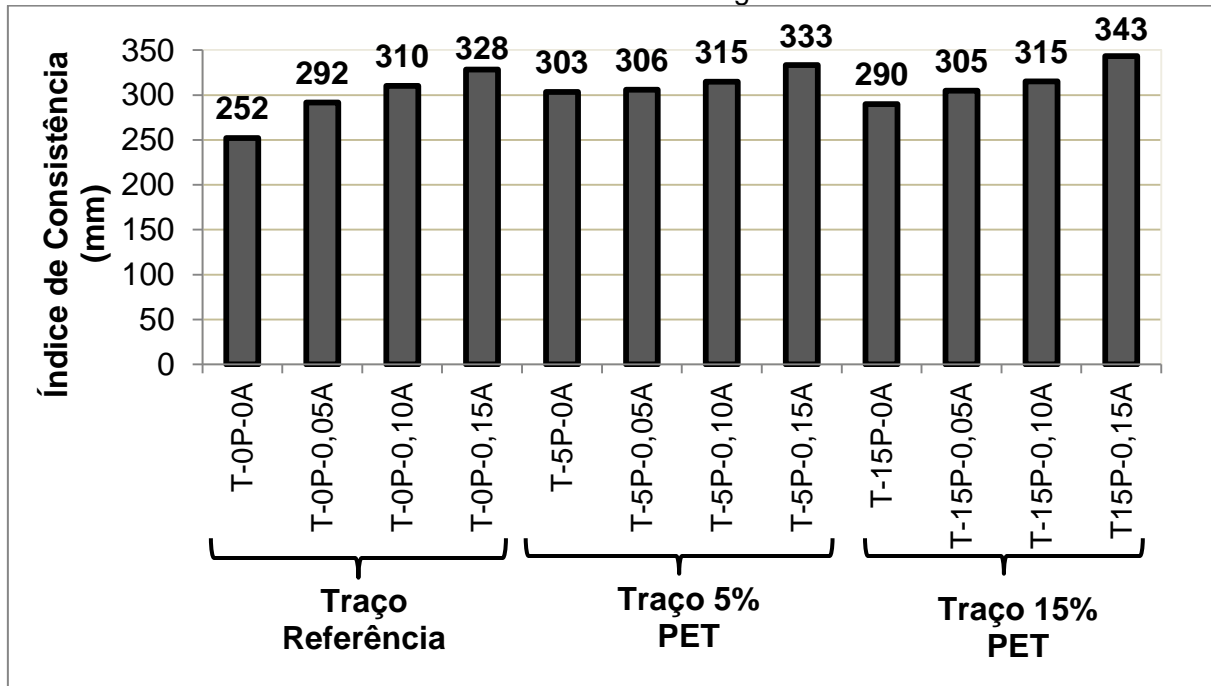
A determinação do índice de consistência caracteriza o espalhamento das amostras e, através dele pode-se representar a trabalhabilidade das argamassas. Este resultado foi determinado através da média de três diâmetros da amostra, o Gráfico 5 apresenta as consistências obtidas para os traços estudados nesta pesquisa, os mesmos resultados estão descritos na Tabela 11 abaixo.

Tabela 11 – Resultados do índice de consistência das argamassas

| | Traço Analisado | Consistência (mm) |
|------------|------------------------|--------------------------|
| Referência | T-0P-0A | 252 |
| | T-0P-0,05A | 292 |
| | T-0P-0,10A | 310 |
| | T-0P-0,15A | 328 |
| 5% PET | T-5P-0A | 303 |
| | T-5P-0,05A | 306 |
| | T-5P-0,10A | 315 |
| | T-5P-0,15A | 333 |
| 15% PET | T-15P-0A | 290 |
| | T-15P-0,05A | 305 |
| | T-15P-0,10A | 315 |
| | T-15P-0,15A | 343 |

Fonte: Elaboração própria

Gráfico 5 – Resultados do índice de consistência das argamassas

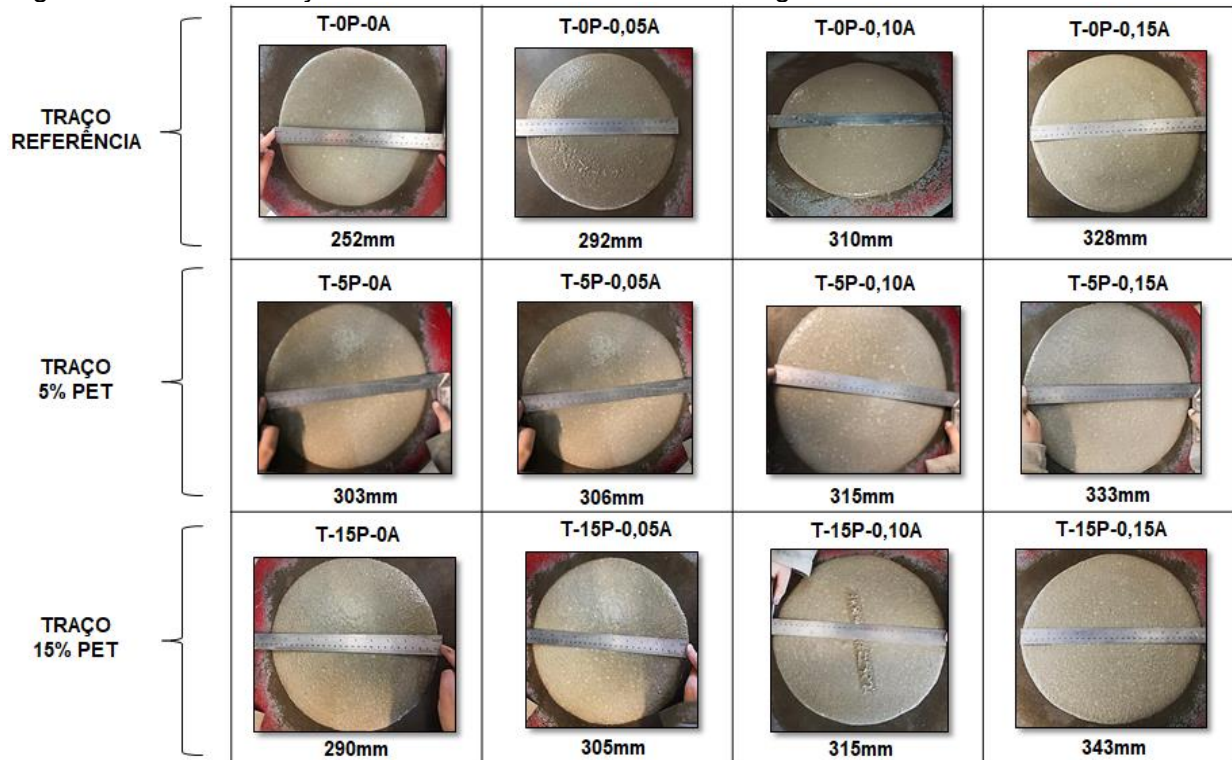


Fonte: Elaboração própria

Através Gráfico 5 pode-se observar que todos os traços apresentaram consistência acima de 250 milímetros.

Os espalhamentos foram registrados e estão expostos na Figura 14.

Figura 14 – Determinação do índice de consistência das argamassas



Fonte: Elaboração própria

Primeiramente, destaca-se que a consistência de controle foi de 252 ± 10 mm, determinada no através da execução do traço de referência (T-0P-0A), ficando estabelecida a relação $a/c=1,45$ para todos os traços estudados.

Nota-se que há o aumento da consistência conforme ocorre a intervenção do aditivo nas misturas, o mesmo pode ser observado para com a substituição de agregado natural por agregado plástico em relação ao traço referência.

Referente ao agregado reciclado de PET, a mesma constatação foi obtida em Duó (2017), onde o aumento da substituição de agregado miúdo natural por agregado reciclado de PET também apresentou o mesmo comportamento no que diz respeito ao índice de consistência das argamassas.

Quanto ao comportamento do aditivo, o aumento do índice de consistência reafirma uma das funções de sua aplicação, que é conferir trabalhabilidade às argamassas.

Assim como Araújo (2005), foi observado que a partir da incorporação de ar nas misturas foram obtidas características sentidas ao manuseio, com isso foi observado que as argamassas ficam mais leves, coesas, menos ásperas e mais trabalháveis.

4.1.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

Foram executados os ensaios de densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco conforme NBR 13278 (ABNT, 2015) e densidade de massa no estado endurecido de acordo com a NBR 13280 (ABNT, 2005).

A densidade de massa no estado fresco e o teor de ar incorporado foram determinados logo após a mistura, já a densidade de massa no estado endurecido foi realizada aos 28 dias, onde as amostras foram pesadas para registro de sua massa em gramas.

Os resultados destes ensaios estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados da densidade de massa no estado fresco e endurecido e teor de ar incorporado

| Traço Analisado | | Densidade de Massa Estado Fresco (g/cm ³) | Densidade de Massa Estado Endurecido (g/cm ³) | Teor de ar incorporado (%) |
|-----------------|-------------|---|---|----------------------------|
| Referência | T-0P-0A | 2,03 | 1,93 | 8,11 |
| | T-0P-0,05A | 1,95 | 1,83 | 11,79 |
| | T-0P-0,10A | 1,88 | 1,77 | 14,96 |
| | T-0P-0,15A | 1,83 | 1,75 | 17,34 |
| 5% PET | T-5P-0A | 2,02 | 1,89 | 5,20 |
| | T-5P-0,05A | 1,96 | 1,84 | 7,89 |
| | T-5P-0,10A | 1,89 | 1,76 | 11,53 |
| | T-5P-0,15A | 1,86 | 1,75 | 12,98 |
| 15% PET | T-15P-0A | 1,98 | 1,84 | 1,65 |
| | T-15P-0,05A | 1,90 | 1,80 | 5,33 |
| | T-15P-0,10A | 1,84 | 1,73 | 8,63 |
| | T15P-0,15A | 1,77 | 1,62 | 11,80 |

Fonte: Elaboração própria

O aumento da substituição de PET não resultou em alterações expressivas no que diz respeito aos resultados de densidade de massa apresentados na Tabela 12, visto que para os traços T-0P-0A, T-5P-0A e T-15P-0A (sem aditivo) a variação da densidade de massa foi de 2,03, 2,02 e 1,98 (g/cm³) no estado fresco e 1,93, 1,89 e 1,84 (g/cm³) no estado endurecido.

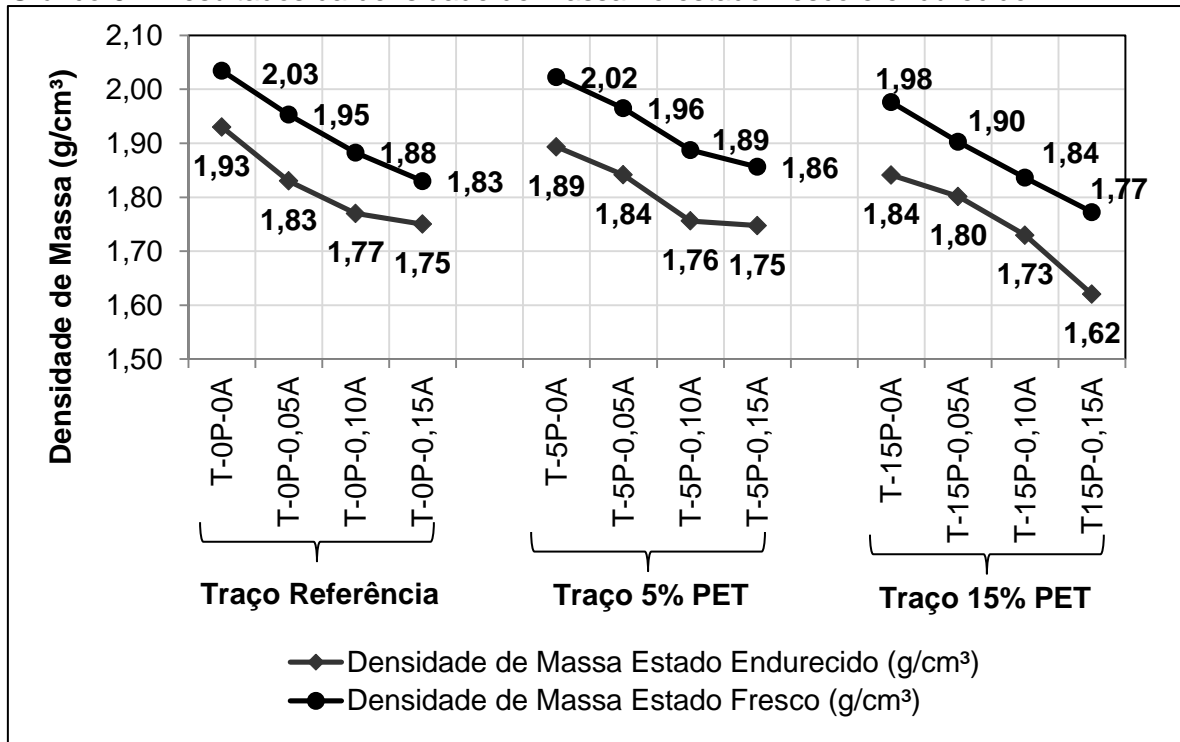
Em relação ao ar incorporado, a adição do agregado plástico apresentou redução nos resultados sendo 8,11%, 5,20% e 1,65%. Esta constatação é de grande interesse à pesquisa, visto que enquanto o aditivo tende a aumentar consideravelmente o ar incorporado, o agregado plástico apresentou tendência inversa, caracterizando certa incompatibilidade entre os componentes.

Nota-se que nos traços sem aditivo as bolhas de ar incorporadas no processo de mistura da argamassa entram em colapso após o término da mesma, já nos traços com aditivo as bolhas de ar são estabilizadas e mantidas após a mistura, fazendo com que o teor de ar incorporado seja menor em relação aos traços com aditivo.

Conforme esperado, os traços que apresentaram a maior porcentagem de ar incorporado foram aqueles com o teor de 0,15% de aditivo, sendo eles 17,34%, 12,98% e 11,80% para o grupo de traços Referência, 5% de PET e 15% de PET, respectivamente.

O Gráfico 6 apresenta um comparativo entre os resultados obtidos para a densidade de massa no estado fresco e endurecido.

Gráfico 6 – Resultados da densidade de massa no estado fresco e endurecido



Fonte: Elaboração própria

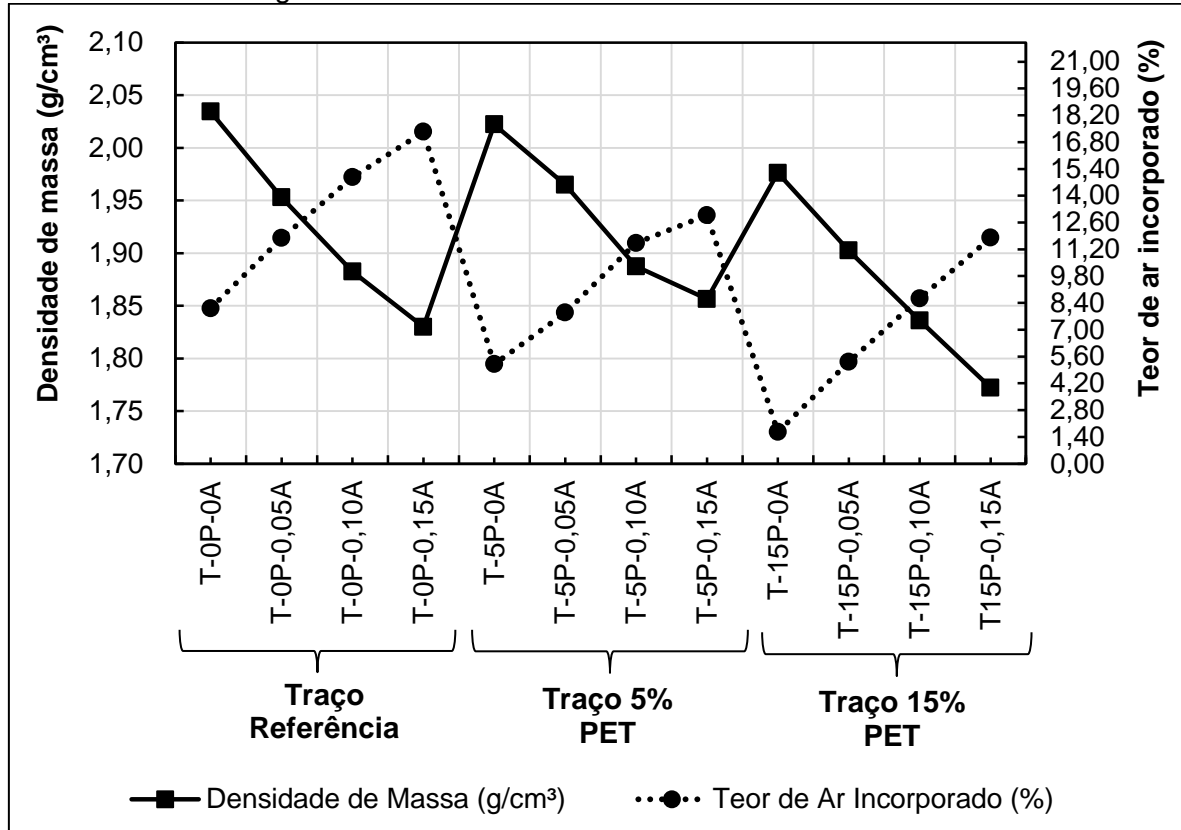
A partir da análise do Gráfico 6 observa-se que conforme ocorre o aumento de aditivo nas misturas houve a diminuição da densidade de massa no estado fresco e o mesmo se repete no estado endurecido. Estas características estão relacionadas ao mecanismo de ação do aditivo, ou seja, incorporar ar nas matrizes cimentícias no estado fresco e preservá-las no estado endurecido, conferindo leveza à argamassa com o mesmo volume.

Otoni *et al* (2018) verificaram que o fato das bolhas de ar serem instáveis e não se manterem após cessar as misturas de referência (sem aditivo) torna o traço mais denso, visto que o aditivo serve para estabilizar e manter o ar incorporado. Esta constatação justifica os valores de densidade de massa que diminuíram com a presença de aditivo tanto no estado fresco quanto no endurecido.

Carasek (2007) classifica como argamassa ideal, aquela que apresenta valores de densidade de massa entre 1650 a 1800 kg/m³, já os valores de densidade de massa inferiores a 1650 kg/m³ são aqueles com teor de ar incorporado acima do ideal e poderiam prejudicar outras propriedades das argamassas. Portanto, as argamassas estudadas são classificadas como ideais de acordo com a autora.

O Gráfico 7 mostra que a densidade de massa é proporcionalmente inversa ao teor de ar incorporado.

Gráfico 7 – Interação dos resultados de densidade de massa e teor de ar incorporado no estado fresco das argamassas



Fonte: Elaboração própria

A partir do Gráfico 7 pode-se concluir que o aumento de ar incorporado torna as misturas mais leves, fazendo com que os traços sem aditivo apresentem misturas mais densas em relação àquelas que contém aditivo em sua composição.

Este gráfico representa uma proporcionalidade de variação dessas propriedades, onde se manteve em cada grupo de traços o aumento ou redução constantes e praticamente com o mesmo índice de variabilidade.

Alves (2002) e Romano (2013) afirmam que o aumento de ar incorporado e a redução da densidade de massa em contraste à formação de microbolhas de ar no interior das matrizes promove a melhoria na trabalhabilidade das argamassas.

4.1.3 Retenção de Água

A retenção de água das argamassas foi determinada com base na NBR 13277 (ABNT, 2005), a Tabela 13 apresenta os resultados obtidos através deste ensaio, bem como a temperatura e a umidade relativa do ar determinadas no dia de

execução dos traços. Este ensaio foi realizado dentro do intervalo de quinze minutos depois de completado o processo de mistura das argamassas.

Tabela 13 – Resultados do ensaio de retenção de água das argamassas

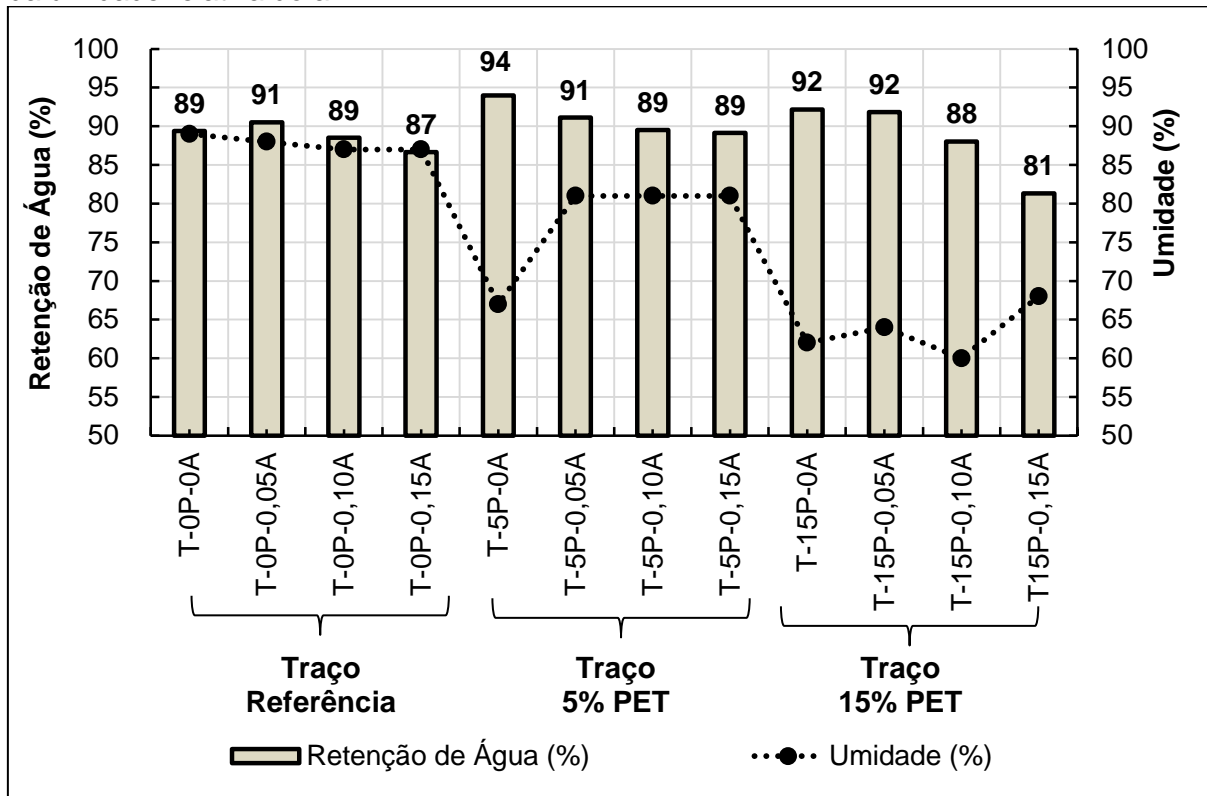
| Traço Analisado | | Ra (%) | T (°C) | Umidade (%) |
|-----------------|-------------|--------|--------|-------------|
| Referência | T-0P-0A | 89 | 21 | 89 |
| | T-0P-0,05A | 91 | 21 | 88 |
| | T-0P-0,10A | 89 | 21 | 87 |
| | T-0P-0,15A | 87 | 21 | 87 |
| 5% PET | T-5P-0A | 94 | 17,5 | 67 |
| | T-5P-0,05A | 91 | 17,7 | 81 |
| | T-5P-0,10A | 89 | 17,7 | 81 |
| | T-5P-0,15A | 89 | 17,5 | 81 |
| 15% PET | T-15P-0A | 92 | 22,5 | 62 |
| | T-15P-0,05A | 92 | 22,9 | 64 |
| | T-15P-0,10A | 88 | 23,4 | 60 |
| | T15P-0,15A | 81 | 24,8 | 68 |

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que os valores obtidos estão dentro dos padrões ideais de retenção de água (Ra) definidos por Carasek (2007), estabelecidos entre 85% a 95%. Sendo assim, todos os traços estão de acordo com o proposto pela autora, exceto o traço com substituição de 15% de PET e 0,15% de aditivo onde a retenção obtida foi de 81%, a menor em relação entre os traços investigados. Este resultado está em concordância com o que foi observado por Oliveira (2019), onde elevados teores de aditivo conferiram facilidade de percolação do líquido no interior das argamassas estudadas pelo autor.

Vale ressaltar que este é um ensaio sensível às condições ambiente de umidade e temperatura, sendo assim buscou-se através do Gráfico 8 mostrar como se comportaram os resultados diante às condições em que as argamassas foram expostas no dia de ensaio.

Gráfico 8 – Comportamento dos resultados de retenção de água das argamassas em função da umidade relativa do ar



Fonte: Elaboração própria

Como pode ser observado nenhum ensaio foi realizado com a umidade abaixo dos padrões normativos ($60 \pm 5\%$) da NBR 13277 (ABNT, 2005). Os resultados obtidos para os casos em que a umidade está inferior em relação aos demais não foram afetados e, ainda, a maior retenção de água obtida foi para o traço T-5P-0A o qual estava sob o efeito de uma umidade relativa do ar de 67%.

Em resumo, os resultados de retenção de água foram positivos para todos os traços analisados, sendo acentuado os resultados dos traços T-0P-0,05A, T-5P-0, T-15P-0A e T-15P-0,05A, pois após o aumento dos percentuais de aditivo para estes traços os dados de retenção de água apresentaram um decréscimo dos resultados.

Os autores Alves (2002), Carasek (2007) e Sousa *et al.* (2019) afirmam que o aditivo incorporador de ar influencia na retenção de água, pois o mesmo tende a obstruir a percolação da água capilar. Já Ottoni (2017) analisou que as bolhas de ar formadas pela ação do aditivo tornam as misturas descontínuas, dificultando o fluxo capilar.

4.1.4 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade é a propriedade que irá definir a durabilidade das argamassas, visto que a água é responsável por transportar consigo ao interior dos revestimentos os agentes agressivos.

Este ensaio foi realizado aos 28 dias para todos os corpos de prova moldados (seis amostras por traço), os procedimentos de ensaio foram realizados conforme NBR 15259 (ABNT, 2005).

Os intervalos para registro da absorção de água foram de dez, sessenta e noventa minutos, com isso foram determinados os resultados apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados médios do ensaio de absorção por capilaridade

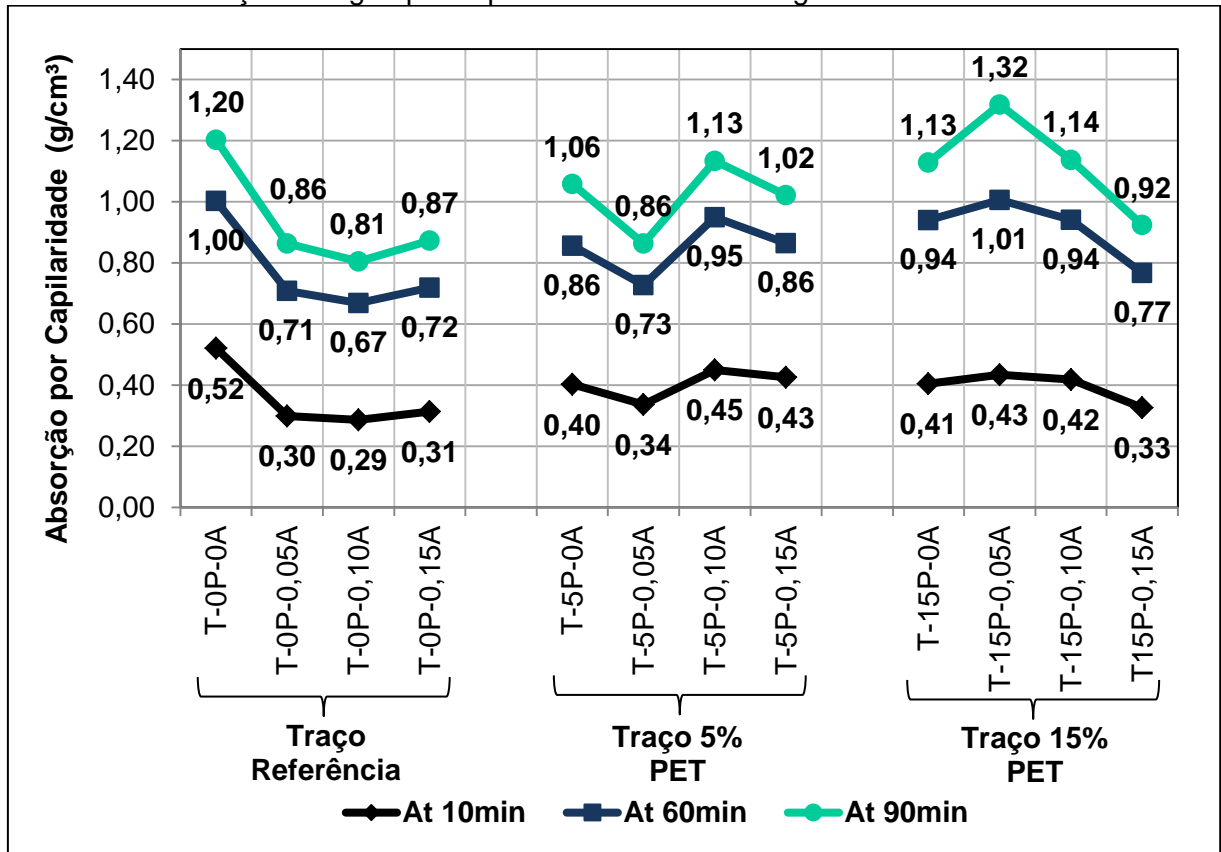
| Traço Analisado | | At _{10min} | Desvio Padrão | At _{60min} | Desvio Padrão | At _{90min} | Desvio Padrão |
|-----------------|-------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------------|---------------|
| Referência | T-0P-0A | 0,52 | 0,04 | 1,00 | 0,09 | 1,20 | 0,08 |
| | T-0P-0,05A | 0,30 | 0,04 | 0,71 | 0,08 | 0,86 | 0,09 |
| | T-0P-0,10A | 0,29 | 0,02 | 0,67 | 0,04 | 0,81 | 0,05 |
| | T-0P-0,15A | 0,31 | 0,04 | 0,72 | 0,05 | 0,87 | 0,05 |
| 5% PET | T-5P-0A | 0,40 | 0,01 | 0,86 | 0,08 | 1,06 | 0,03 |
| | T-5P-0,05A | 0,34 | 0,04 | 0,73 | 0,09 | 0,86 | 0,11 |
| | T-5P-0,10A | 0,45 | 0,04 | 0,95 | 0,08 | 1,13 | 0,09 |
| | T-5P-0,15A | 0,43 | 0,02 | 0,86 | 0,03 | 1,02 | 0,04 |
| 15% PET | T-15P-0A | 0,41 | 0,02 | 0,94 | 0,02 | 1,13 | 0,03 |
| | T-15P-0,05A | 0,43 | 0,02 | 1,01 | 0,06 | 1,32 | 0,25 |
| | T-15P-0,10A | 0,42 | 0,01 | 0,94 | 0,05 | 1,14 | 0,05 |
| | T-15P-0,15A | 0,33 | 0,01 | 0,77 | 0,04 | 0,92 | 0,06 |

Fonte: Elaboração própria

A absorção de água representa o processo físico pelo qual o material retém água em seus poros capilares, ou seja, quanto mais interligados estiverem os poros, maior e mais rápida será a absorção (OTTONI, 2017). Portanto, é indispensável que haja uma interação entre os materiais componentes das misturas de forma a impedir a percolação de água na estrutura.

O Gráfico 9 apresenta nove curvas de absorção por capilaridade para cada grupo de traços analisado e intervalo de tempo onde foram registradas as medidas das amostras ensaiadas.

Gráfico 9 – Absorção de água por capilaridade média das argamassas



Fonte: Elaboração própria

Conforme analisado no Gráfico 9 os traços com maior absorção por capilaridade aos 90 minutos (tempo final de ensaio) foram o T – 0P – 0A e o T – 15P – 0,05A consequentemente, os dois traços que apresentaram maior coeficiente de capilaridade C90-10.

Analisando o gráfico acima, os traços do grupo Referência mostram que a partir do teor de 0,15% de aditivo há um aumento da absorção de água, enquanto isso os teores de 0,05% e 0,10% apresentam os menores valores de absorção em relação ao traço com 0% de aditivo, sendo esses dois teores de aditivo os que melhor interagiram na estrutura a fim de impedir a percolação de água.

Para o grupo com 5% de substituição de PET, o teor de aditivo de 0,05% foi o que melhor desempenhou a sua função de impedir a absorção de água pelo preenchimento dos vazios.

Ao contrário do ocorrido com os traços referência e 5% de substituição, os traços com 15% de PET apresentaram melhor comportamento do aditivo quanto ao fechamento dos poros para o teor de 0,15%, onde ocorreu a redução da absorção capilar.

Em resumo, analisando-se o grupo referência é notável que conforme ocorre o acréscimo de aditivo nas misturas houve a diminuição da absorção de água. Para o grupo de 5% de PET o teor de 0,05% de aditivo foi o que melhor se comportou no que diz respeito à interação dos componentes (fechamento dos poros permeáveis à água) contribuindo com a redução da absorção por capilaridade. Já para o grupo com 15% de PET a partir do aumento do teor de aditivo acima de 0,05% é que os traços começaram a reduzir suas absorções.

Dentro desse contexto, Oliveira (2019) constatou que teores de aditivo em excesso consequentemente originam maiores índices de bolhas de ar no interior das argamassas, fazendo com que vazios sejam contínuos e resultem em uma espécie de caminho para percolação da água. Este fato pode ser observado nos casos em que não ocorre a interação adequada entre os componentes da mistura e o AIA.

Para obtenção do coeficiente de capilaridade a NBR 15259 (ABNT, 2005) indica a realização das medições nos tempos de dez e noventa minutos, o intervalo de sessenta minutos foi acrescentado nesta pesquisa para conferir um melhor entendimento do comportamento desta propriedade das argamassas.

Os resultados dos coeficientes de capilaridade médio das argamassas estão expostos na Tabela 15.

Tabela 15 – Coeficiente de capilaridade médio das argamassas

| Traço Analisado | | C ₆₀₋₁₀ | Desvio Padrão | C ₉₀₋₁₀ | Desvio Padrão | C ₉₀₋₆₀ | Desvio Padrão |
|-----------------|-------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| Referência | T-0P-0A | 0,77 | 0,96 | 1,00 | 0,81 | 1,20 | 0,58 |
| | T-0P-0,05A | 0,66 | 0,64 | 0,71 | 0,83 | 0,86 | 0,21 |
| | T-0P-0,10A | 0,61 | 0,42 | 0,67 | 0,54 | 0,81 | 0,16 |
| | T-0P-0,15A | 0,65 | 0,40 | 0,72 | 0,53 | 0,87 | 0,13 |
| 5% PET | T-5P-0A | 0,72 | 1,27 | 0,86 | 0,37 | 1,06 | 1,22 |
| | T-5P-0,05A | 0,63 | 0,75 | 0,73 | 1,19 | 0,86 | 0,47 |
| | T-5P-0,10A | 0,82 | 0,67 | 0,95 | 0,90 | 1,13 | 0,23 |
| | T-5P-0,15A | 0,70 | 0,44 | 0,86 | 0,59 | 1,02 | 0,18 |
| 15% PET | T-15P-0A | 0,85 | 0,10 | 0,94 | 0,20 | 1,13 | 0,12 |
| | T-15P-0,05A | 0,92 | 0,61 | 1,01 | 3,96 | 1,32 | 3,97 |
| | T-15P-0,10A | 0,84 | 0,63 | 0,94 | 0,67 | 1,14 | 0,15 |
| | T15P-0,15A | 0,70 | 0,49 | 0,77 | 0,69 | 0,92 | 0,28 |

Fonte: Elaboração própria

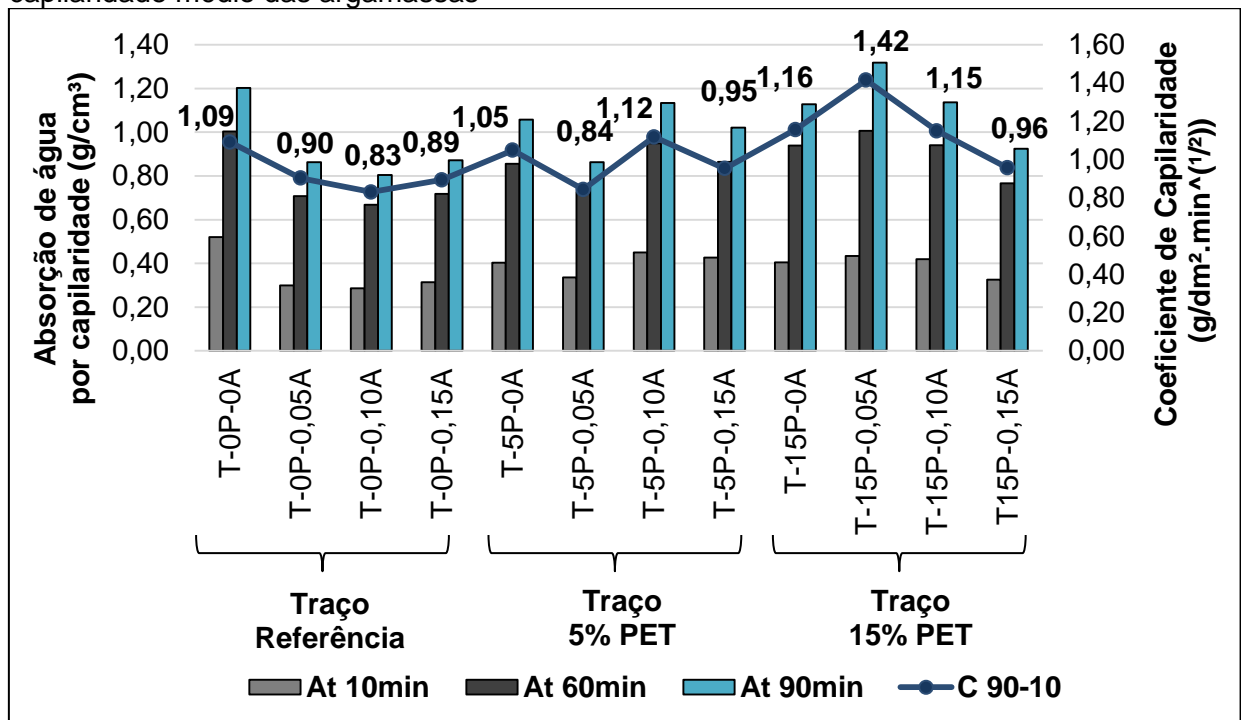
De acordo com a classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005) todos os traços de argamassa são classificados como C1, visto que os coeficientes de capilaridade são inferiores a 1,5 (g/dm². min^(1/2)).

O coeficiente de capilaridade para o intervalo de 90-10 minutos é o que apresenta os maiores coeficientes de capilaridade, visto que este é o tempo total de ensaio e a absorção foi acumulativa.

Observa-se através dos dados da Tabela 15 que nos 10 minutos iniciais de ensaio ocorre a maior ascensão capilar das amostras, enquanto isso nos 30 minutos finais os poros já se encontram saturados e apresentam um coeficiente de capilaridade menor em relação aos demais intervalos.

O Gráfico 10 apresenta a interação da absorção de água com o coeficiente de capilaridade do intervalo total de ensaio (C90-10) de todos os traços analisados.

Gráfico 10 – Interação da absorção de água por capilaridade com o coeficiente de capilaridade médio das argamassas



Fonte: Elaboração própria

Sabe-se que quanto menor for o coeficiente de capilaridade menor será a capacidade de absorção de água da argamassa em análise dentro do intervalo de tempo onde o coeficiente foi calculado. Espera-se que o efeito do aditivo seja o de reduzir a absorção de água, nos casos em que isto não acontece, acredita-se que seja devido à falha na interação entre as variáveis componentes da matriz cimentícia.

Além disso, observa-se uma tendência de a absorção dos traços ser maior nos 10 minutos iniciais de ensaio, visto que os poros ainda não estão saturados e a ascensão capilar ocorre rapidamente.

Para Oliveira (2019) a ausência de finos nas misturas e a grande quantidade de bolhas de ar incorporadas pelo aditivo proporcionam a aglutinação de bolhas menores, resultando em bolhas maiores e com menor pressão interna, assim, após o endurecimento das amostras os poros resultantes deste processo se interconectam formando canais que permitem a percolação de água com maior facilidade.

Em resumo, o teor de aditivo se comportou de maneira diferente quanto à absorção de água para cada grupo de traço dependendo da porcentagem de substituição de agregado plástico presente nas misturas (areia de PET). Para o grupo Referência todos os teores de aditivo a partir de 0,05% reduziram a absorção, o grupo com 5% de PET apresentou redução no teor de 0,05% de aditivo e para o grupo com 15% de PET os teores de aditivo acima de 0,10% foram os que diminuíram a absorção de água. Em função dos resultados expostos não serem expressivos, considera-se necessário o desenvolvimento de novos estudos para verificar e/ou comprovar a tendência de comportamento observada nessa pesquisa.

4.1.5 Absorção de água pelo método do cachimbo

Conforme indicado pela normativa CSTC (1982) o método do cachimbo para determinação da absorção de água foi realizado aos 28 dias, onde 24 pontos dos revestimentos argamassados foram ensaiados.

A Tabela 16 apresenta o tempo médio obtido entre as duas amostras, que cada revestimento levou para completar a absorção total de 3,5ml do cachimbo.

Tabela 16 – Resultados médios da absorção de água pelo método do cachimbo

| Traço Analisado | Tempo (min) | Absorção (ml) |
|-----------------|-------------|---------------|
| Referência | T-0P-0A | 2,1 |
| | T-0P-0,05A | 2,0 |
| | T-0P-0,10A | 4,0 |
| | T-0P-0,15A | 6,5 |
| 5% PET | T-5P-0A | 6,1 |
| | T-5P-0,05A | 6,0 |
| | T-5P-0,10A | 4,0 |
| | T-5P-0,15A | 4,0 |
| 15% PET | T-15P-0A | 5,2 |
| | T-15P-0,05A | 10,0 |
| | T-15P-0,10A | 4,0 |
| | T-15P-0,15A | 8,0 |

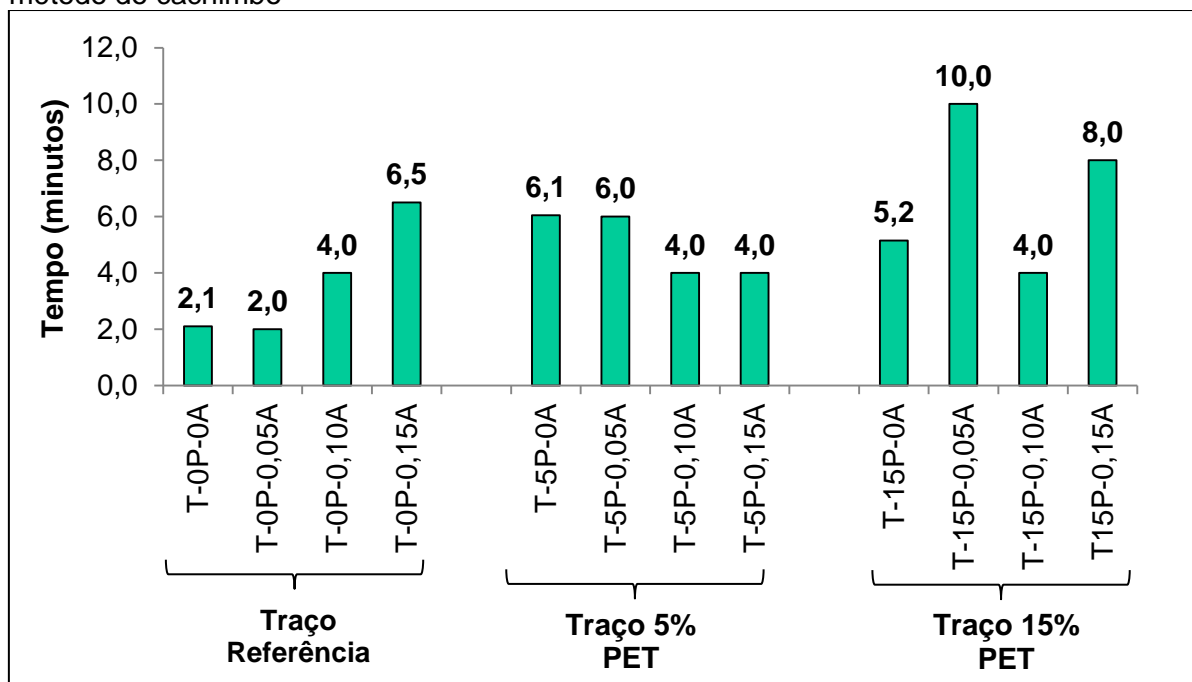
Fonte: Elaboração própria

Todos os traços analisados nesta pesquisa não apresentaram resultado de absorção de água pelo método do cachimbo no tempo de quinze minutos exigido pela normativa, visto todas as argamassas atingiram a absorção de 3,5ml (capacidade do cachimbo) antes de dez minutos.

Apenas o traço T – 15P – 0,05A absorveu os 3,5ml no tempo de dez minutos, em relação ao observado nos resultados de absorção de água por capilaridade, este traço obteve o maior coeficiente C90-10 de 1,42 (g/dm².min^{1/2}) e a maior absorção de água com 1,32 g/cm³, o que indicaria o traço com maior permeabilidade à água por ascensão capilar e o menos permeável ao método do cachimbo. Acredita-se que estruturas com poros menores tendem a absorver mais água em intervalos de tempo maiores.

O Gráfico 11 apresenta o tempo médio que cada argamassa levou para atingir a absorção total de 3,5ml de água.

Gráfico 11 – Tempo médio para absorção total de água das argamassas no ensaio do método do cachimbo



Fonte: Elaboração própria

Os resultados apresentados no Gráfico 11 estão em concordância com os valores obtidos através do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Para o traço T-0P-0A (sem substituição de PET e sem aditivo) os resultados de absorção de água por capilaridade também indicaram o maior índice de absorção devido aos poros permeáveis presentes na mistura. Ainda, nota-se que houve um aumento no tempo de absorção conforme o aditivo foi acrescentado nos traços

referência, esta análise também está de acordo com o que foi observado no ensaio anterior.

Em relação aos traços com 5% de PET também foi observado uma decadência na absorção de água em ambos os ensaios, visto que os teores de aditivo acima de 0,05% aumentaram a capacidade de absorção das argamassas.

Assim como no ensaio de absorção por capilaridade, durante a execução do ensaio pelo método do cachimbo foi observado que os segundos iniciais de contato das amostras com a água são aqueles em que a absorção ocorre de forma acelerada e, após a saturação dos poros a absorção começa a desacelerar. Em resumo, os traços com maior índice de poros permeáveis absorvem mais água em menor tempo, ao contrário das estruturas com menores índices de poros permeáveis, que absorvem a mesma quantidade de água em um intervalo de tempo maior.

Este ensaio apresentou grande variabilidade nos resultados e considera-se a necessidade de serem realizados mais dois pontos para uma melhor análise.

4.1.6 Resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial

Os ensaios mecânicos foram executados aos 28 dias, conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005), os resultados obtidos para resistência à tração na flexão e à compressão axial estão expostos na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados médios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial das argamassas

| Traço Analisado | | Resistência à tração na flexão (MPa) | Desvio Padrão | Resistência à compressão axial (MPa) | Desvio Padrão |
|-----------------|-------------|--------------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|
| Referência | T-0P-0A | 0,88 | 0,03 | 3,72 | 0,92 |
| | T-0P-0,05A | 1,05 | 0,03 | 3,73 | 0,69 |
| | T-0P-0,10A | 0,99 | 0,11 | 3,20 | 0,58 |
| | T-0P-0,15A | 0,87 | 0,10 | 2,69 | 0,35 |
| 5% PET | T-5P-0A | 0,88 | 0,05 | 3,74 | 0,70 |
| | T-5P-0,05A | 1,04 | 0,10 | 3,51 | 0,50 |
| | T-5P-0,10A | 0,69 | 0,04 | 2,40 | 0,44 |
| | T-5P-0,15A | 0,78 | 0,07 | 2,92 | 0,57 |
| 15% PET | T-15P-0A | 0,89 | 0,09 | 3,48 | 0,57 |
| | T-15P-0,05A | 0,70 | 0,04 | 2,66 | 0,47 |
| | T-15P-0,10A | 0,69 | 0,02 | 2,44 | 0,38 |
| | T-15P-0,15A | 0,90 | 0,05 | 2,41 | 0,41 |

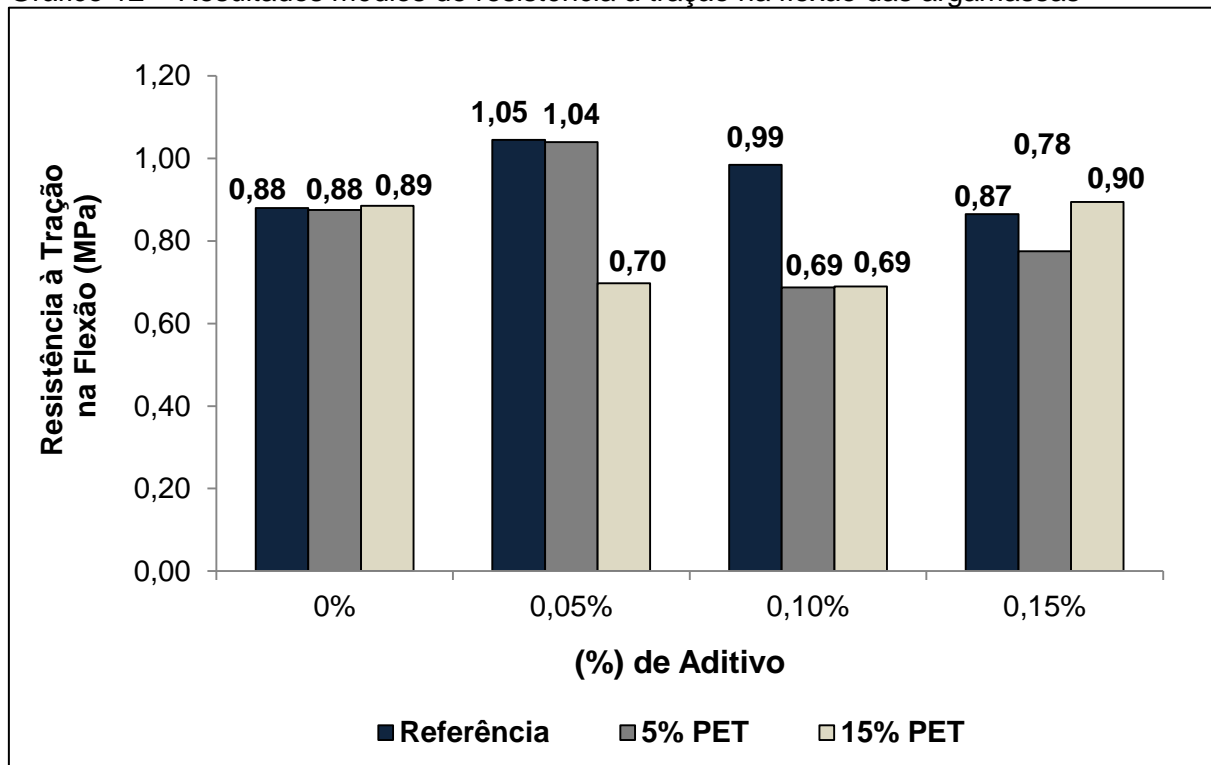
Fonte: Elaboração própria

Para estes ensaios foram desconsiderados dois resultados espúrios de cada traço, a fim de manter sempre o mesmo referencial de número de amostras e garantir o refinamento os resultados encontrados, estes dados foram destacados e estão apresentados nos Apêndices J, K e L.

Nota-se através da Tabela 17 que a variabilidade das médias de resistência à tração na flexão é de 14,75%, já as médias da resistência à compressão axial apresentam variabilidade de 17,84%, portanto ambas com variação média de resultados.

Os gráficos 12 e 13 apresentam o comportamento dos resultados destes dois ensaios em relação aos traços estudados nesta pesquisa.

Gráfico 12 – Resultados médios de resistência à tração na flexão das argamassas



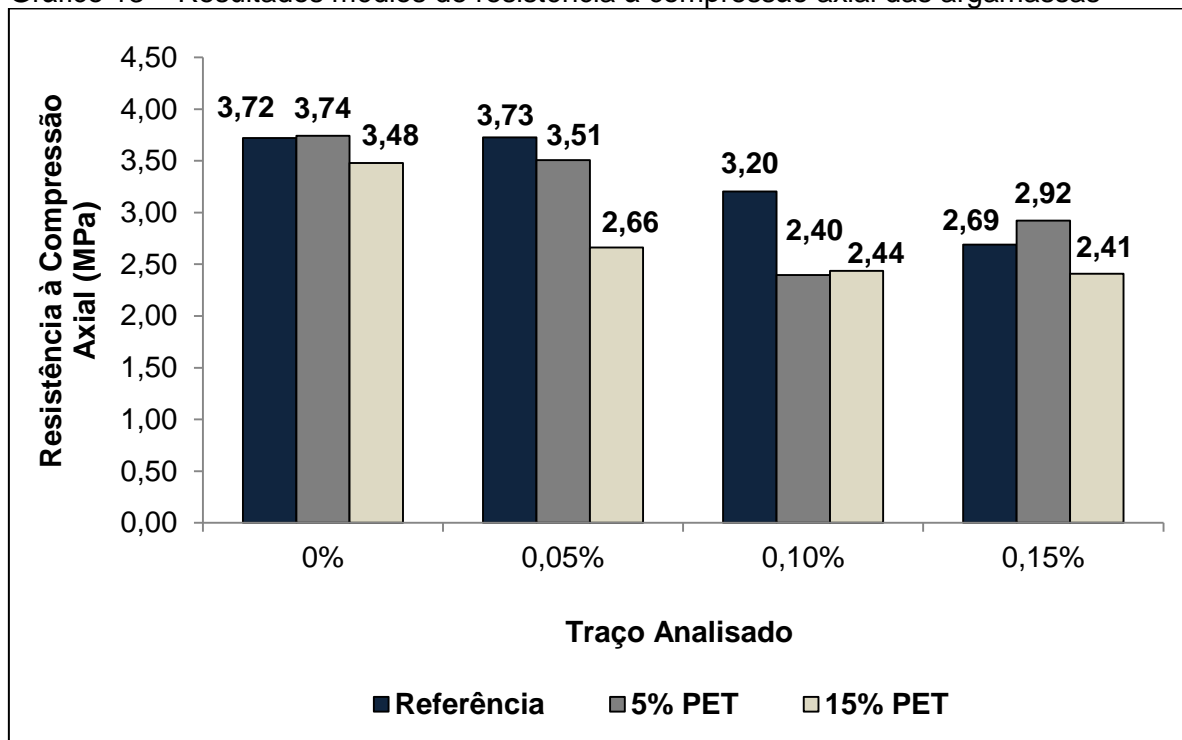
Fonte: Elaboração própria

Embora os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão não apresentem grande variabilidade em termos quantitativos, é notável que a substituição do agregado reciclado de PET não causa variação expressiva na resistência à flexão para as misturas com 0% de aditivo.

Em relação ao aditivo incorporador de ar, houve uma melhora nos resultados dos traços referência e com 5% PET nos percentuais de 0,05% e 0,10%. No entanto o teor de aditivo de 0,15% foi o melhor apenas para os traços com 15% de PET.

Os resultados dos ensaios mecânicos são correlacionados ao teor de ar incorporado pelo aditivo, o qual aumenta a quantidade de bolhas de ar presentes na estrutura das argamassas, estas que irão propiciar valores menores de densidade e, conseqüentemente, irão diminuir as resistências mecânicas.

Gráfico 13 – Resultados médios de resistência à compressão axial das argamassas



Fonte: Elaboração própria

Como era esperado, o aumento do teor de aditivo incorporador de ar causou a redução das propriedades mecânicas, esta análise fica mais visível no ensaio de compressão axial.

A análise a respeito do comportamento das propriedades mecânicas estão de acordo com os resultados obtidos pelos autores Silva *et al.* (2009), Stoltz *et al.* (2011), Gava *et al.* (2015), Mendes *et al.* (2017), Ottoni *et al.* (2018), Biava *et al.* (2018) e Oliveira (2019), os quais também avaliaram o comportamento de aditivo incorporador de ar em argamassas.

O grupo de traços de referência foi o que melhor se comportou em termos de resultados mecânicos com o aumento de aditivo, onde apenas para o teor de 0,15% ocorre uma diminuição da resistência à compressão.

Para os traços do grupo com 5% de agregado reciclado de PET, observa-se uma redução mais expressiva na resistência à compressão axial a partir do teor de 0,10% de aditivo.

O grupo com 15% de agregado plástico apresentou diminuição constante da resistência à compressão axial a partir do momento em que ocorreu a primeira inserção de aditivo nas misturas.

4.1.7 Resistência potencial de aderência à tração

O ensaio para determinação da resistência potencial de aderência à tração foi realizado conforme NBR 15258 (ABNT, 2005). Para cada traço, foi realizada a aplicação das argamassas em substrato padrão de concreto, em cada um deles foram realizados doze arrancamentos.

Conforme procedimento de ensaio, uma das etapas foi a classificação quanto as possíveis formas de ruptura do conjunto. A Tabela 18 apresenta quais foram os percentuais de cada traço para as formas de ruptura analisadas.

Tabela 18 – Formas de ruptura apresentadas pelos traços analisados

| | | (%) Forma de Ruptura | | | | | |
|------------------------|-------------|-----------------------------|----------|------------|------------|------------|--------------|
| Traço Analisado | | A | S | A/S | A/C | C/P | Total |
| Referência | T-0P-0A | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 77,3% | 22,7% | 100,0% |
| | T-0P-0,05A | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 49,3% | 50,7% | 100,0% |
| | T-0P-0,10A | 0,0% | 0,0% | 9,1% | 81,4% | 9,5% | 100,0% |
| | T-0P-0,15A | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 83,4% | 16,6% | 100,0% |
| 5% PET | T-5P-0A | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 99,6% | 0,5% | 100,0% |
| | T-5P-0,05A | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 98,0% | 2,0% | 100,0% |
| | T-5P-0,10A | 0,0% | 0,0% | 50,0% | 45,8% | 4,2% | 100,0% |
| | T-5P-0,15A | 0,0% | 0,0% | 44,5% | 53,3% | 2,2% | 100,0% |
| 15% PET | T-15P-0A | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 98,8% | 1,2% | 100,0% |
| | T-15P-0,05A | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 84,8% | 15,2% | 100,0% |
| | T-15P-0,10A | 8,3% | 0,0% | 0,0% | 84,3% | 7,4% | 100,0% |
| | T15P-0,15A | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 96,2% | 3,8% | 100,0% |

(A) - Argamassa

(S) - Substrato

(A/S) - Interface Argamassa/Substrato

(A/C) - Interface Argamassa/Cola

(C/P) - Interface Cola/Pastilha

Fonte: Elaboração própria

Observa-se que a maior parte das amostras apresentou ruptura na interface argamassa/cola (A/C), acredita-se que estes resultados estão coerentes já que este estudo se trata de argamassas com baixos valores de resistências mecânicas e, além disso, há presença de aditivo incorporador de ar que acentua ainda mais a queda destes resultados.

As argamassas com 5% de substituição do agregado miúdo por agregado reciclado de PET com os teores de 0,10% e 0,15% de aditivo foram as que apresentaram 50% e 44,5% de suas amostras rompidas na interface Argamassa/Substrato. Nestes casos, as resistências médias de aderência foram 0,36 MPa e 0,34 MPa, respetivamente.

De acordo com Schmitz e Araújo (2014) a ruptura na interface argamassa/substrato é considerada do tipo adesiva. Sabendo que a forma de ruptura do revestimento indica um ponto frágil do sistema, conclui-se que há certa tendência para futuras manifestações patológicas de aderência das argamassas ao substrato para as amostras que apresentarem ruptura do tipo adesiva.

A Tabela 19 apresenta os resultados de resistência média de aderência à tração obtida para cada traço estudado, bem como seus respectivos desvios padrão, coeficiente de variabilidade, forma de ruptura e classificação de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Tabela 19 – Resultados médios obtidos através do ensaio de resistência média de aderência à tração

| Traço Analisado | | Resistência Média de Aderência (MPa) | Desvio Padrão | Coeficiente de Variação (%) | Forma de Ruptura | Classe NBR 13281 |
|-----------------|-------------|--------------------------------------|---------------|-----------------------------|------------------|------------------|
| Referência | T-0P-0A | 0,35 | 0,15 | 42,82 | A/C | A3 |
| | T-0P-0,05A | 0,29 | 0,07 | 24,36 | A/C | A2 |
| | T-0P-0,10A | 0,37 | 0,12 | 31,57 | A/C | A3 |
| | T-0P-0,15A | 0,33 | 0,06 | 17,05 | A/C | A3 |
| 5% PET | T-5P-0A | 0,37 | 0,06 | 17,48 | A/C | A3 |
| | T-5P-0,05A | 0,41 | 0,06 | 14,14 | A/C | A3 |
| | T-5P-0,10A | 0,36 | 0,10 | 26,76 | (AS) e (A/C) | A3 |
| | T-5P-0,15A | 0,34 | 0,07 | 21,20 | (AS) e (A/C) | A3 |
| 15% PET | T-15P-0A | 0,31 | 0,06 | 18,82 | A/C | A3 |
| | T-15P-0,05A | 0,30 | 0,08 | 25,13 | A/C | A3 |
| | T-15P-0,10A | 0,31 | 0,11 | 36,34 | A/C | A3 |
| | T15P-0,15A | 0,35 | 0,13 | 37,74 | A/C | A3 |

(A) - Argamassa

(S) - Substrato

(A/S) - Interface Argamassa/Substrato

(A/C) - Interface Argamassa/Cola

(C/P) - Interface Cola/Pastilha

Fonte: Elaboração própria

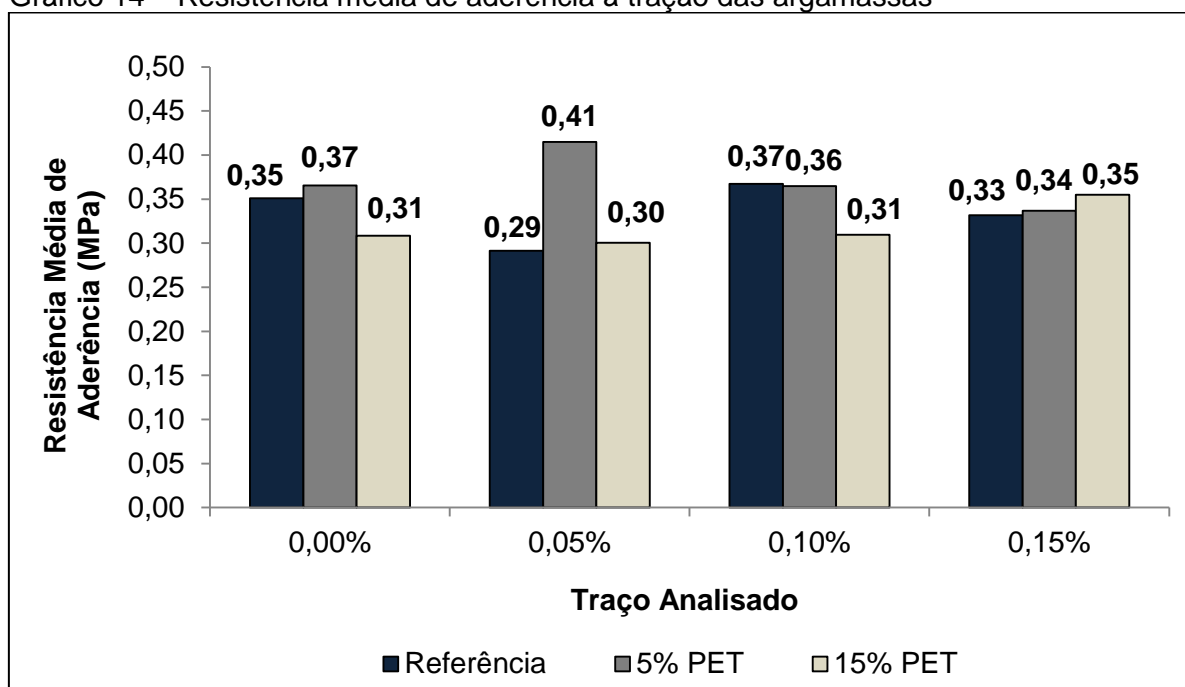
A NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as argamassas de revestimento, com relação à resistência potencial de aderência à tração, nas classes A1 (< 0,20 MPa),

A2 ($\geq 0,20$ MPa) ou A3 ($\geq 0,30$ MPa). Portanto, nenhuma das argamassas se enquadra na classe A1 da norma.

Este é um ensaio que apresenta grande variabilidade de resultados, pois são muitas as variáveis que podem intervir. No entanto, os resultados obtidos mantiveram coeficientes de variação de no máximo 42,82%, enquanto o coeficiente geralmente é de ordem 10% a 35% (CARASEK, 2009). Logo, pode-se dizer que a maior parte dos resultados obtidos tem credibilidade.

O Gráfico 14 apresenta os as resistências médias de aderência à tração das argamassas em relação à variação de aditivo acrescido nas misturas.

Gráfico 14 – Resistência média de aderência à tração das argamassas



Fonte: Elaboração própria

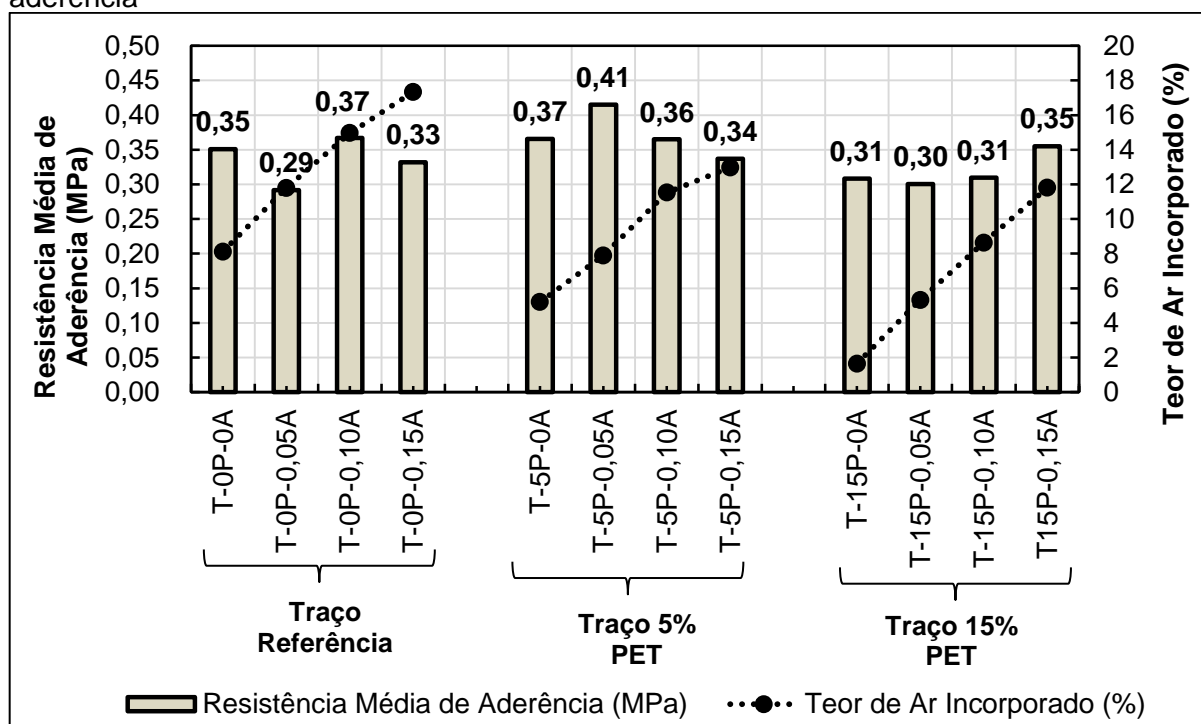
Para o ensaio de resistência de aderência à tração todos os traços apresentaram resultados médios dentro dos padrões normativos da NBR 13749 (ABNT, 2013), onde o valor mínimo de resistência é de 0,2 MPa para revestimentos internos e 0,3 MPa para revestimentos externos. Portanto, todos os traços analisados atenderam os valores de resistência média de aderência à tração dentro dos valores normativos.

De modo geral, o teor de aditivo que apresentou melhor aderência a tração para os traços do grupo referência foi o de 0,10%, para o grupo de 5% de PET foi o percentual de 0,05% de aditivo e para o grupo com 15% de PET o melhor resultado foi para o teor de 0,15%.

Para Oliveira (2012) a retenção de água influencia na resistência média de aderência de uma argamassa, com isso nota-se que o traço com 5% de substituição de PET e 0,05% de aditivo apresenta resistência média de aderência de 0,41 MPa e retenção de água de 91%, ou seja, dentro dos limites normativos para ambos ensaios.

O Gráfico 15 apresenta a interação do teor de ar incorporado (propriedade do estado fresco) na resistência média de aderência à tração.

Gráfico 15 – Influência do teor de ar incorporado das argamassas na resistência média de aderência



Fonte: Elaboração própria

De acordo com Carasek (2007) o teor de ar incorporado provoca a redução da aderência das argamassas, devido à formação das bolhas de ar que diminuem a superfície de contato argamassa/substrato.





Conforme pode ser observado no Gráfico 15, no caso dos grupos de traços Referência e 5% de PET o aumento do ar incorporado até o teor máximo de aditivo causou a diminuição da resistência de aderência. No entanto, apenas os traços com 15% de substituição de PET apresentaram pequeno aumento da resistência de aderência conforme o aumento do aditivo, e é justamente neste traço que temos o maior teor de ar incorporado das misturas, embora o aumento de aditivo pouco tenha afetado nos resultados de aderência dos outros quatro traços pertencentes ao grupo.

5 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Os resultados de todos os ensaios realizados para controle das propriedades no estado fresco e endurecido foram sintetizados de acordo com o grau de relevância do aditivo incorporador de ar e do agregado reciclado de PET nos resultados obtidos para cada ensaio.

Tabela 20 – Síntese dos resultados

| Ensaio realizado | | Relevância nos resultados | |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------|
| | | Aditivo | Areia de PET |
| Estado Fresco | Índice de consistência | ↑ | ↑ |
| | Densidade de massa | ↑ | → |
| | Teor de ar incorporado | ↑ | ↓ |
| | Retenção de água | → | → |
| Estado Endurecido | Densidade de massa | ↑ | → |
| | Absorção de água (capilaridade) | ↗ | ↗ |
| | Absorção de água (cachimbo) | ↗ | ↗ |
| | Resistência à tração na flexão | ↓ | → |
| | Resistência à compressão axial | ↓ | → |
| | Resistência de aderência à tração | → | → |

| | |
|---|---|
| Legenda | |
|  | Melhorou as propriedades |
|  | Reduziu as propriedades |
|  | Imparcial às propriedades |
|  | Variabilidade entre teores de aplicação |

Fonte: Elaboração própria

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo foi elaborado com base no trabalho de conclusão de curso de Duó (2017), onde foi avaliada influência do agregado reciclado de PET através da substituição parcial do agregado miúdo natural nas argamassas, logo a presente pesquisa objetiva avaliar a interação do aditivo incorporador de ar na reprodução dos traços de argamassa avaliados pela autora. Sendo assim, os objetivos propostos foram atingidos, visto que todos os ensaios propostos foram executados e, assim se obteve a caracterização das propriedades das argamassas.

Para que uma argamassa apresente bom desempenho de todas as suas funções, cuidados específicos devem ser tomados durante todas as etapas que envolvem o seu preparo e aplicação. No entanto, ainda que sejam tomadas todas as precauções necessárias devem-se levar em conta as exigências de todas as propriedades do estado fresco e endurecido.

Através desta pesquisa constatou-se que a utilização do aditivo incorporador de ar em argamassas confere benefícios no que diz respeito às propriedades do estado fresco, como o aumento do teor de ar incorporado e a redução da densidade de massa que conseqüentemente melhoram a trabalhabilidade das argamassas, ainda que isto afete às resistências mecânicas dos traços no estado endurecido.

A partir do controle das propriedades mecânicas no estado endurecido, constatou-se pouca variação nos resultados de resistência à tração na flexão, já em relação aos resultados de resistência à compressão, nota-se que há uma redução mais acentuada decorrente à substituição de agregado plástico e aplicação de aditivo incorporador de ar.

Quanto à durabilidade das argamassas, através dos ensaios de absorção de água nota-se que o aditivo precisa apresentar interatividade com os demais materiais componentes da estrutura para que sua funcionalidade seja ideal, ou seja, ocorra o reforço dos poros permeáveis. Esta funcionalidade foi obtida em alguns casos, principalmente nos traços onde não há agregado reciclado de PET, onde foi observado que com o aumento do aditivo houve a redução da absorção de água.

Ainda, é efetivo que o uso de aditivo incorporador de ar em argamassas proporciona uma redução do consumo de materiais para a produção de um mesmo volume final, visto que o aditivo é aplicado em substituição ao cimento.

Em relação aos resultados da resistência média de aderência à tração, todos os traços analisados apresentaram-se dentro dos padrões normativos embora as formas de ruptura não tenham sido expressivas, visto que a maioria delas ocorreu na interface argamassa/cola. Além disso, optou-se pela realização do ensaio sem aplicação de chapisco e a sua ausência pode ter ocasionado interferência nos resultados de aderência, bem como a presença de bolhas de ar no interior das matrizes, o que de certa forma indicaria uma deficiência de ancoragem da argamassa ao substrato.

Com relação à substituição parcial de agregado miúdo natural por agregado reciclado de PET pode-se dizer que não foram expressivas às alterações observadas em quaisquer ensaios realizados.

Quanto à interação das variáveis agregado plástico e aditivo incorporador de ar, a análise dos resultados mostra que não houve compatibilidade relevante na formação de uma matriz ideal, tampouco resultados acentuados. É importante salientar que a investigação desta composição (areia de PET/aditivo) é complexa e necessita de uma análise mais aprofundada para seu perfeito entendimento, como por exemplo, a observação da microestrutura através do ensaio de MEV.

Portanto, a aplicabilidade do aditivo incorporador de ar em argamassas é viável desde que isto ocorra nas porcentagens adequadas para o desempenho satisfatório de suas funções, além disso, cuidados devem ser tomados durante a escolha dos componentes da mistura, para que ocorra a interatividade adequada da estrutura. Com isso, é possível se obter uma argamassa trabalhável, com boa permeabilidade, propriedades mecânicas, redução do consumo de cimento e do custo sem comprometer a qualidade do produto final.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Reproduzir os traços estudados e realizar a análise reológica das argamassas através do ensaio squeeze-flow;
- Analisar a influencia do aditivo incorporador de ar em traços de argamassas com outras substituições alternativas;
- Reproduzir os traços deste estudo e comparar os resultados entre dois diferentes aditivos;
- Realizar o ensaio de aderência à tração comparando a aplicação das argamassas em um sistema com chapisco;
- Reproduzir os traços desta pesquisa e realizar a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 11768**: Aditivos para concreto e argamassa ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **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 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

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

_____. **NBR 1408-2**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios, Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 15258**: Argamassa para assentamento e 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 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16605:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 16697:** Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR NM 248:** Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 45:** Agregado miúdo – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. BT 106: **Guia Básico de Utilização do Cimento Portland**. ABCP. São Paulo, 2002.

ABIPET – Associação Brasileira da Indústria do PET. **Benefícios da reciclagem de PET**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/>>. Acesso: 25 de maio de 2019.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso: 25 de maio de 2019.

ALVES, J. C., DREUX, Virgínia P. **Resíduos da Construção Civil em Obras Novas**. Revista Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas. Vol. 1, N 1, P. 53 – 65. Aracajú – SE, Fev. 2015.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação de mestrado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília, 2002.

ARAÚJO, M. J. S. **Influência do teor de aditivo aerante nas propriedades das argamassas fluidas à base de cimento**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

BAÍA L. L. M.; SABBATINI F. H. **Projeto e Execução de Revestimento de Argamassa**. Coleção Primeiros passos da qualidade no canteiro de obras. 2ª edição. São Paulo, 2000.

BARRETO, M. F. O.; BRANDÃO, P. R. G. **Avaliação da resistência de aderência à tração de argamassas de cimento Portland novas e envelhecidas**. 1º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Cuiabá, 2014.

BAUER, E. **Revestimento de Argamassa: características e peculiaridades**. 1ª ed. Brasília, 2005.

BELINO, S. M. **Desempenho do aditivo incorporador de ar em argamassas mistas para revestimento**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Mato Grosso do Sul, 2016.

BIAVA, J. F.; CARNEIRO, R. C.; IRRIGARAY, M. A. P. **Influência do aditivo incorporador de ar nas propriedades de argamassas de emboço no estado fresco**. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, 2018.

BUILDER – A sua solução em químicos para construção. **Catálogo do fabricante**. Cachoeirinha/RS, 2016. Disponível em: <http://builder.ind.br/ft-085-plasmix-m-313/>. Acesso: 21 de abril de 2019.

CANELLAS, S. S. **Reciclagem de PET, visando a substituição de agregado miúdo em argamassas**. Dissertação de mestrado em Ciência dos Materiais e Metalurgia. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

CARASEK, H. Argamassas. In: Geraldo C. Isaia (Org./Ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 1ª ed., v. 2, cap. 26, IBRACON. São Paulo, 2007.

CARASEK, H. **Influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimento de argamassa**. Revista Ambiente Construído. v.9, n 4. São Paulo, 2009.

CARDOSO, C. V. **Estudo da utilização de tratamento polimérico com sílica de casca de arroz no comportamento à tração direta e aderência da fibra de sisal em compósitos cimentícios**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2017.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2009.

CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Banco de dados**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.cbicdados.com.br/home/>. Acesso: 25 de maio de 2019.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **O mercado para reciclagem**. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/8/pet>. Acesso: 08 de junho de 2019.

COELHO, R. T. **Contribuição ao estudo da aplicação de materiais alternativos nos compósitos à base de cimento Portland: uso de grãos de polipropileno reciclado em substituição aos agregados do concreto**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

DUÓ, D. **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 – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2017.

FERNANDES, A. P. **Estudo da viabilidade da substituição parcial de areia natural por agregado reciclado de PET nas propriedades mecânicas e de retração por secagem de concretos convencionais.** Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2017.

FICHER, N. M. **Estudo do comportamento à tração direta e indireta de compósitos de fibra de juta.** Trabalho de conclusão de curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2017.

FILHO, F. H.; PELISSER, F. **Caracterização de argamassa de revestimento a base de cal e aditivada.** Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). Criciúma, 2014.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção.** 4ª edição. Editora UNICAMP, 2017.

FREITAS, A. H. C.; FRANÇA, P. M.; FRANÇA, T. M. **Patologias de fachadas.** v. 1, n. 2. Revista Pensar: Engenharia. Jul. 2013.

GAVA, G. P.; MANCINI, P. S.; SAKAI, H. H. **Influência do aditivo incorporador de ar nas propriedades das argamassas de assentamento.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC. Fortaleza, 2015.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; LEITE, R. S. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto.** ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. v. 2, n. 1, p. 53-68. Porto Alegre, 2002.

GUERRA, T. D.; LIRA, M. O.; PORTO, T. R.; LUZ, P. M. S. G.; MENDONÇA, A. M. G. D. **Argamassas manufaturadas com substituição parcial do cimento por PET triturado.** III Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências (CONAPESC). Campina Grande 2018.

ISAIA, G. C. **A Evolução do Concreto Estrutural.** In: Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ª ed. v.1. Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON. São Paulo, 2011.

JARDIM, R. R. **Estudo da viabilidade da substituição parcial do agregado miúdo por agregado miúdo reciclado de PET em concretos convencionais.** Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2016.

LEMES, S. P. S. **Análise de desempenho em argamassa de assentamento e de revestimento com incorporação de cinza de casca de arroz em alvenaria de bloco estrutural e de vedação.** Trabalho de conclusão de curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2013.

LOURENCI, S. **Caracterização de Argamassas de Revestimento Fabricadas com Materiais Alternativos**. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Centro de Ciências Tecnológicas. Joinville, 2003.

LUDWIG, D. G. **Concreto com adição de cinza da casca de arroz**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Centro Universitário Univates. Centro de Ciências Exatas Tecnológicas. Lajeado, 2014.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para execução de revestimentos de argamassas para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

MANSUR, A. A. P.; NASCIMENTO, O. L.; MANSUR, H. S. **Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico)**. Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros. Campina Grande, 2007.

MEDEIROS, M. H. F.; ANDRADE, J. J. O.; HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: **Concreto: Ciência e Tecnologia**. Ed. G. C. ISAIA. 1.ed. v.1. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto: IBRACON, 2011.

MEHTA, P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª ed. IBRACON. São Paulo, 2014.

MELLO, A. L. **Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2011.

MENDES, J. C.; MORO, T. K.; BATISTA, J. O. S.; CARVALHO, J. M. F.; SILVA, G. J. B.; PEIXOTO, R. A. F. **Análise morfológica e microestrutural de argamassas com aditivo incorporador de ar**. Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto. 2017. IBRACON. Bento Gonçalves, 2017.

MENDONÇA, A. M. G. D.; SOUSA, L. M. C.; NETO, V. F. S.; ARAÚJO M. L. R., SILVA, J. B. **Utilização de resíduo de mármore para produção de argamassas**. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campo Grande, 2017.

MENEGUINI, E. C. A. **Comportamento de argamassas com o emprego de pó de borracha**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Resíduos de Plástico, Papel, Papelão, Papel Metalizado, Vidro e Metal**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/9411-residuos-de-plastico,-papel,-papelao,-papel-metalizado,-vidro-e-metal>>. Acesso: 08 de junho de 2019.

MOURA, N. B. **Estudo da viabilidade de substituição parcial do agregado miúdo natural por resíduo de PET na fabricação de concreto leve**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2017.

MULLER, G. M. **Análise da produtividade da mão de obra e do consumo de materiais na execução do revestimento de fachada em argamassa.** Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2004.

NATALLI, J. F.; MELO, T. V.; FONTES, W. C.; FIGUEIREDO, A. S.; SARMANHO, A. M. C.; PEIXOTO, R. A. F. **Efeito dos aditivos expander e incorporador de ar em matrizes cimentícias para pilares mistos preenchidos.** Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto. 2018. IBRACON. Bento Gonçalves, 2017.

NETO, A. M.; ANDRADE, D. C.; SOTO, N. A. T. **Estudo das propriedades e viabilidade técnico-econômica da argamassa estabilizada.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Departamento Acadêmico de Construção Civil. Curitiba, 2010.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Tradução: Ruy A. Cremonimi. 5ª ed. Porto Alegre, 2016.

OLIVEIRA, H. M. **Cimento Portland.** In: Materiais de construção. Ed. L. A. Falcão Bauer. 5ª ed. revisada. Rio de Janeiro, 2012.

OLIVEIRA, J. P. M. **Influência do módulo de finura nas propriedades de argamassas com aditivo incorporador de ar.** Dissertação de mestrado. UFSM. Santa Maria, 2019.

OTTONI, T. P. **Estudo da influencia do aditivo alvenarit nas propriedades das argamassas de revestimento.** Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, 2017.

OTTONI, T. P.; MARQUEZAN J. P.; MOHAMAD G.; LUBECK A. **Estudo da influencia do aditivo incorporador de ar nas propriedades mecânicas de argamassas de revestimento.** Anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto. 2018. IBRACON. Foz do Iguaçu, 2018.

PAIC – **Pesquisa Anual da Indústria da Construção.** IBGE, 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria>>. Acesso: 25 de maio de 2019.

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 13. Ed. São Paulo: Globo, 1998.

PIETROBELLI, E. R. **Estudo de viabilidade do PET reciclado em concreto sob aspecto da resistência a compressão.** Monografia apresentada na Universidade Comunitária Regional de Chapecó - Graduação em Engenharia Civil. Chapecó, 2010.

PIMENTEL, L. L. **Durabilidade de argamassas modificadas por polímeros e reforçadas com fibras vegetais**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2004.

PORTO, M. E. H. C.; SILVA, S. V. **Reaproveitamento dos entulhos de concreto na construção de casas populares**. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2008.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo a argamassa**. 2ª ed. EDIPUCRS. Porto Alegre, 2012.

ROMANO, R. C. O. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2013.

ROSA, D. F. M. **Aplicação de resíduos de polietileno tereftalato (PET) como alternativa ao agregado miúdo natural em argamassas de assentamento**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Centro Universitário de Formiga. Formiga, 2017.

SALLES, NETO M.; LELIS, F. R. C.; SOUZA, F. O.; CRUZ, H. K. M.; BARBOZA, H. M. **Viabilidade Técnica do Emprego de Detergentes Residenciais como Aditivos Incorporadores de Ar para Argamassas**. Anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto. 2018. IBRACON. Foz do Iguaçu, 2018.

SANTIAGO, C. C. **Argamassas tradicionais de cal**. EDUFBA – Editora da Universidade Federal da Bahia. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2007.

SANTOS, A. D. C. **Investigação do efeito da incorporação de resíduos de PET em compósitos cimentícios**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São João Del Rei. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. São João Del Rei, 2012.

SANTOS, C. C. N. **Critérios de projetabilidade para as argamassas industrializadas de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília, 2003.

SCHMITZ, L. B.; ARAÚJO, J. F. B. **Análise experimental da resistência de aderência à tração em revestimentos argamassados**. Trabalho de conclusão de curso. UNESC, 2014/02.

SCHNEIDER, T. V. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas de argamassas reforçadas com nanotubos de carbono**. Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2018.

SILVA, M. R. **Materiais de Construção**. 2ª Edição Revisada. Editora Pini LTDA. São Paulo, 1991.

SILVA, N. G. S.; COLODETTI, G.; PICHETTI, D. Z. C. M.; PAUL, P.J. **Efeitos do ar incorporado nas propriedades do estado endurecido em argamassas de**

cimento e areia. Anais do 51º Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON. Curitiba, 2009.

SINDUSCON – Sindicato da Indústria da Construção. **Notícias de economia.** São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/assuntos/economia>>. Acesso: 25 de maio de 2019.

SOUSA, L. H. O.; MORAIS, D. M.; AMANCIO, F. A. **Efeito do aditivo incorporador de ar nas propriedades das argamassas de revestimento.** Revista CIATEC. UPF. Vol 11. Paraná, 2019.

SOUZA, J. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz.** Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em Engenharia de Processos. Universidade Federal de Campina Grande (UFGC). Campina Grande, 2008.

STOLTZ, C. M.; MASUERO, A. B.; KIRCHHEIN, A. P. **A influência da reologia das argamassas de revestimento a minimização do surgimento de manifestações patológicas por descolamento.** Anais do 7º Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Fortaleza, 2011.

TEMP, A. L. **Avaliação de revestimentos de argamassa à permeabilidade ao vapor de água.** Dissertação de mestrado. Santa Maria, 2014.

TONELLO, I. **Estudo do comportamento mecânico à compressão e flexão em argamassas de revestimento com substituição parcial de cimento Portland por sílica da casca de arroz, cinza volante e metacaulim.** Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2017.

VAZ, C. E. **Avaliação do desempenho de argamassa modificada: com areia de PET.** Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2016.

WENER, J. C. **Elementos cerâmicos e argamassas de assentamento – uma avaliação das condições de utilização em obras de Condor e Panambi.** Trabalho de Conclusão de Curso – Graduação em Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2004.

ZANELATTO, K. C. **Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados com projeção mecânica contínua.** Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

APÊNDICES

Apêndice A – Resultados Completos: Ensaio de determinação da densidade de massa das argamassas.

Tabela 21 – Dados completos: Densidade de massa no estado fresco das argamassas

| Traço Analisado | | Recipiente cheio (g) | Recipiente vazio (g) | Volume recipiente (cm ³) | Densidade de Massa (g/cm ³) |
|-----------------|-------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|---|
| Referência | T-0P-0A | 1180,3 | 411,3 | 378 | 2,03 |
| | T-0P-0,05A | 1149,5 | 411,3 | 378 | 1,95 |
| | T-0P-0,10A | 1122,9 | 411,3 | 378 | 1,88 |
| | T-0P-0,15A | 1103,0 | 411,3 | 378 | 1,83 |
| 5% PET | T-5P-0A | 1175,7 | 411,3 | 378 | 2,02 |
| | T-5P-0,05A | 1154,0 | 411,3 | 378 | 1,96 |
| | T-5P-0,10A | 1124,7 | 411,3 | 378 | 1,89 |
| | T-5P-0,15A | 1113,0 | 411,3 | 378 | 1,86 |
| 15% PET | T-15P-0A | 1158,3 | 411,3 | 378 | 1,98 |
| | T-15P-0,05A | 1130,4 | 411,3 | 378 | 1,90 |
| | T-15P-0,10A | 1105,3 | 411,3 | 378 | 1,84 |
| | T15P-0,15A | 1081,2 | 411,3 | 378 | 1,77 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice B – Resultados Completos: Ensaio de determinação do teor de ar incorporado das argamassas.

Tabela 22 – Dados completos: Teor de ar incorporado das argamassas

| Traço Analisado | | Densidade de Massa (g/cm ³) | Densidade de Massa Teórica (g/cm ³) | Teor de Ar Incorporado (%) |
|-----------------|-------------|---|---|----------------------------|
| Referência | T-0P-0A | 2,034 | 2,214 | 8,1 |
| | T-0P-0,05A | 1,953 | 2,214 | 11,8 |
| | T-0P-0,10A | 1,883 | 2,214 | 15,0 |
| | T-0P-0,15A | 1,830 | 2,214 | 17,3 |
| 5% PET | T-5P-0A | 2,022 | 2,133 | 5,2 |
| | T-5P-0,05A | 1,965 | 2,133 | 7,9 |
| | T-5P-0,10A | 1,887 | 2,133 | 11,5 |
| | T-5P-0,15A | 1,856 | 2,133 | 13,0 |
| 15% PET | T-15P-0A | 1,98 | 2,009 | 1,65 |
| | T-15P-0,05A | 1,90 | 2,009 | 5,3 |
| | T-15P-0,10A | 1,84 | 2,009 | 8,6 |
| | T15P-0,15A | 1,77 | 2,009 | 11,8 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice C – Resultados Completos: Ensaio de determinação de retenção de água das argamassas.

Tabela 23 – Dados completos: Retenção de água das argamassas

| Traço Analisado | | Mv (g) | Ma(g) | Ms (g) | Mw (g) | M (g) | AF | Ra (%) |
|-----------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| Referência | T-0P-0A | 994,8 | 2346,6 | 2328,7 | 390,0 | 2740,0 | 0,125 | 89 |
| | T-0P-0,05A | 991,7 | 2310,8 | 2295,2 | 390,0 | 2740,0 | 0,125 | 91 |
| | T-0P-0,10A | 993,4 | 2293,6 | 2275,0 | 390,0 | 2740,0 | 0,125 | 89 |
| | T-0P-0,15A | 992,0 | 2261,6 | 2240,5 | 390,0 | 2740,0 | 0,125 | 87 |
| 5% PET | T-5P-0A | 991,2 | 2294,4 | 2284,8 | 354,5 | 2537,0 | 0,123 | 94 |
| | T-5P-0,05A | 994,0 | 2242,1 | 2228,5 | 354,5 | 2537,0 | 0,123 | 91 |
| | T-5P-0,10A | 994,6 | 2182,4 | 2167,1 | 354,5 | 2537,0 | 0,123 | 89 |
| | T-5P-0,15A | 990,8 | 2155,0 | 2139,5 | 354,5 | 2537,0 | 0,123 | 89 |
| 15% PET | T-15P-0A | 989,0 | 2207,9 | 2196,7 | 354,5 | 2669,0 | 0,117 | 92 |
| | T-15P-0,05A | 995,0 | 2215,7 | 2204,0 | 354,5 | 2669,0 | 0,117 | 92 |
| | T-15P-0,10A | 991,5 | 2166,2 | 2149,7 | 354,5 | 2669,0 | 0,117 | 88 |
| | T15P-0,15A | 989,7 | 2121,2 | 2096,4 | 354,5 | 2669,0 | 0,117 | 81 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice D – Resultados Completos: Ensaio de determinação da densidade de massa no estado endurecido.

Tabela 24 – Dados completos: Densidade de massa no estado endurecido das argamassas

| Densidade de massa no estado endurecido (g/cm ²) | | | | | | | | | |
|--|----------------------|--------|--------------------------|----------------------|--------|--------------------------|----------------------|--------|--------------------------|
| CP | (T – 0P – 0A) | | | (T – 5P – 0A) | | | (T – 15P – 0A) | | |
| | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) |
| 1 | 256 | 493,20 | 1,93 | 256 | 486,10 | 1,90 | 256 | 465,80 | 1,82 |
| 2 | 256 | 489,20 | 1,91 | 256 | 481,10 | 1,88 | 256 | 476,30 | 1,86 |
| 3 | 256 | 496,80 | 1,94 | 256 | 471,40 | 1,84 | 256 | 474,40 | 1,85 |
| 4 | 256 | 496,30 | 1,94 | 256 | 491,30 | 1,92 | 256 | 477,20 | 1,86 |
| 5 | 256 | 491,60 | 1,92 | 256 | 484,90 | 1,89 | 256 | 466,90 | 1,82 |
| 6 | 256 | 500,30 | 1,95 | 256 | 493,20 | 1,93 | 256 | 467,50 | 1,83 |
| Média | - | - | 1,93 | - | - | 1,89 | - | - | 1,84 |
| CP | (T – 0P – 0,05A) | | | (T – 5P – 0,05A) | | | (T – 15P – 0,05A) | | |
| | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) |
| 1 | 256 | 465,00 | 1,82 | 256 | 482,70 | 1,89 | 256 | 468,80 | 1,83 |
| 2 | 256 | 475,20 | 1,86 | 256 | 472,90 | 1,85 | 256 | 453,20 | 1,77 |
| 3 | 256 | 472,50 | 1,85 | 256 | 467,40 | 1,83 | 256 | 450,90 | 1,76 |
| 4 | 256 | 466,20 | 1,82 | 256 | 466,00 | 1,82 | 256 | 457,50 | 1,79 |
| 5 | 256 | 467,20 | 1,83 | 256 | 474,40 | 1,85 | 256 | 466,20 | 1,82 |
| 6 | 256 | 464,40 | 1,81 | 256 | 464,90 | 1,82 | 256 | 470,30 | 1,84 |
| Média | - | - | 1,83 | - | - | 1,84 | - | - | 1,80 |
| CP | (T – 0P – 0,10A) | | | (T – 5P – 0,10A) | | | (T – 15P – 0,10A) | | |
| | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) |
| 1 | 256 | 452,50 | 1,77 | 256 | 446,80 | 1,75 | 256 | 453,10 | 1,77 |
| 2 | 256 | 453,90 | 1,77 | 256 | 452,20 | 1,77 | 256 | 438,70 | 1,71 |
| 3 | 256 | 451,20 | 1,76 | 256 | 445,10 | 1,74 | 256 | 439,80 | 1,72 |
| 4 | 256 | 453,50 | 1,77 | 256 | 451,10 | 1,76 | 256 | 444,10 | 1,73 |
| 5 | 256 | 456,90 | 1,78 | 256 | 456,00 | 1,78 | 256 | 446,40 | 1,74 |
| 6 | 256 | 456,50 | 1,78 | 256 | 445,90 | 1,74 | 256 | 434,50 | 1,70 |
| Média | - | - | 1,77 | - | - | 1,76 | - | - | 1,73 |
| CP | (T – 0P – 0,15A) | | | (T – 5P – 0,15A) | | | (T – 15P – 0,15A) | | |
| | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) | V (cm ³) | Mi (g) | DM (gm/cm ³) |
| 1 | 256 | 445,90 | 1,74 | 256 | 444,40 | 1,74 | 256 | 404,50 | 1,58 |
| 2 | 256 | 451,10 | 1,76 | 256 | 445,90 | 1,74 | 256 | 420,60 | 1,64 |
| 3 | 256 | 441,70 | 1,73 | 256 | 449,40 | 1,76 | 256 | 416,40 | 1,63 |
| 4 | 256 | 453,20 | 1,77 | 256 | 446,70 | 1,74 | 256 | 417,10 | 1,63 |
| 5 | 256 | 441,90 | 1,73 | 256 | 449,30 | 1,76 | 256 | 412,30 | 1,61 |
| 6 | 256 | - | - | 256 | 448,40 | 1,75 | 256 | 423,90 | 1,66 |
| Média | - | - | 1,75 | - | - | 1,75 | - | - | 1,62 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice E – Resultados Completos: Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade das argamassas.

Tabela 25 – Dados completos: Registros de massa em gramas das amostras para determinação da absorção de água por capilaridade das argamassas

| Registros de massa (g) | | | | | | | | | |
|------------------------|---|---------|---------|---|---------|---------|---|---------|---------|
| CP | (T – 0P – 0A) | | | (T – 5P – 0A) | | | (T – 15P – 0A) | | |
| | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) |
| 1 | 501,60 | 509,70 | 513,50 | 492,50 | 500,20 | 503,00 | 471,90 | 480,50 | 483,40 |
| 2 | 497,10 | 504,50 | 507,60 | 487,50 | 492,20 | 497,90 | 482,80 | 491,30 | 494,30 |
| 3 | 504,30 | 510,30 | 513,90 | 477,50 | 485,10 | 487,70 | 480,60 | 489,00 | 491,90 |
| 4 | 504,90 | 512,60 | 516,20 | 498,00 | 505,90 | 508,80 | 483,50 | 492,20 | 495,40 |
| 5 | 500,10 | 508,60 | 510,90 | 491,40 | 498,90 | 501,40 | 474,10 | 482,60 | 485,70 |
| 6 | 509,40 | 518,00 | 520,80 | 499,80 | 507,90 | 510,80 | 474,10 | 482,70 | 485,70 |
| - | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 |
| CP | (T – 0P – 0,05A) | | | (T – 5P – 0,05A) | | | (T – 15P – 0,05A) | | |
| | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) |
| 1 | 470,50 | 478,20 | 481,00 | 487,30 | 493,40 | 495,50 | 475,90 | 485,10 | 488,50 |
| 2 | 479,90 | 486,30 | 488,60 | 477,90 | 484,00 | 486,10 | 460,60 | 470,70 | 474,30 |
| 3 | 476,30 | 482,30 | 484,60 | 473,70 | 481,20 | 484,30 | 457,80 | 467,10 | 470,30 |
| 4 | 470,80 | 477,20 | 479,80 | 470,80 | 476,00 | 477,80 | 464,00 | 472,20 | 475,50 |
| 5 | 472,80 | 479,60 | 482,20 | 479,90 | 486,00 | 487,90 | 473,20 | 482,30 | 485,70 |
| 6 | 468,90 | 474,90 | 477,20 | 471,00 | 477,50 | 479,60 | 477,10 | 486,10 | 499,20 |
| - | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 |
| CP | (T – 0P – 0,10A) | | | (T – 5P – 0,10A) | | | (T – 15P – 0,10A) | | |
| | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) |
| 1 | 456,90 | 463,00 | 465,30 | 453,30 | 461,80 | 464,80 | 459,80 | 468,30 | 471,50 |
| 2 | 458,20 | 464,20 | 466,50 | 459,50 | 468,40 | 471,70 | 445,20 | 453,10 | 456,10 |
| 3 | 456,10 | 462,90 | 465,20 | 452,20 | 460,10 | 463,00 | 446,70 | 456,00 | 459,00 |
| 4 | 458,00 | 464,20 | 466,30 | 458,80 | 467,60 | 470,70 | 451,00 | 459,70 | 463,10 |
| 5 | 461,90 | 468,00 | 470,20 | 463,30 | 471,40 | 474,30 | 453,20 | 461,40 | 464,60 |
| 6 | 460,90 | 466,40 | 468,30 | 451,80 | 458,90 | 461,50 | 440,90 | 448,40 | 451,50 |
| - | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 |
| CP | (T – 0P – 0,15A) | | | (T – 5P – 0,15A) | | | (T – 15P – 0,15A) | | |
| | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) | M10 (g) | M60 (g) | M90 (g) |
| 1 | 450,60 | 456,90 | 459,30 | 450,80 | 458,00 | 460,50 | 409,30 | 415,40 | 417,60 |
| 2 | 456,40 | 463,40 | 466,00 | 452,80 | 460,00 | 462,70 | 425,90 | 433,20 | 436,20 |
| 3 | 445,90 | 452,10 | 454,50 | 456,00 | 463,50 | 466,20 | 421,80 | 429,30 | 431,80 |
| 4 | 459,00 | 465,10 | 467,40 | 453,80 | 460,80 | 463,10 | 422,40 | 429,50 | 432,00 |
| 5 | 447,00 | 453,80 | 456,40 | 455,90 | 462,10 | 464,40 | 417,60 | 424,70 | 427,00 |
| 6 | - | - | - | 455,70 | 462,70 | 465,30 | 429,10 | 436,30 | 438,90 |
| - | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 | Área em contato com a água (cm ²) | | 16 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice F – Resultados Completos: Ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade das argamassas.

Tabela 26 – Dados completos: Absorção de água por capilaridade das argamassas

| Absorção por Capilaridade (g/cm ²) | | | | | | | | | |
|--|------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|
| CP | (T – 0P – 0A) | | | (T – 5P – 0A) | | | (T – 15P – 0A) | | |
| | A10min | A60min | A90min | A10min | A60min | A90min | A10min | A60min | A90min |
| 1 | 0,53 | 1,03 | 1,27 | 0,40 | 0,88 | 1,06 | 0,38 | 0,92 | 1,10 |
| 2 | 0,49 | 0,96 | 1,15 | 0,40 | 0,69 | 1,05 | 0,41 | 0,94 | 1,13 |
| 3 | 0,47 | 0,84 | 1,07 | 0,38 | 0,86 | 1,02 | 0,39 | 0,91 | 1,09 |
| 4 | 0,54 | 1,02 | 1,24 | 0,42 | 0,91 | 1,09 | 0,39 | 0,94 | 1,14 |
| 5 | 0,53 | 1,06 | 1,21 | 0,41 | 0,88 | 1,03 | 0,45 | 0,98 | 1,18 |
| 6 | 0,57 | 1,11 | 1,28 | 0,41 | 0,92 | 1,10 | 0,41 | 0,95 | 1,14 |
| Média | 0,52 | 1,00 | 1,20 | 0,40 | 0,86 | 1,06 | 0,41 | 0,94 | 1,13 |
| CP | (T – 0P – 0,05A) | | | (T – 5P – 0,05A) | | | (T – 15P – 0,05A) | | |
| | A10min | A60min | A90min | A10min | A60min | A90min | A10min | A60min | A90min |
| 1 | 0,34 | 0,82 | 1,00 | 0,29 | 0,67 | 0,80 | 0,44 | 1,02 | 1,23 |
| 2 | 0,29 | 0,69 | 0,84 | 0,31 | 0,69 | 0,83 | 0,46 | 1,09 | 1,32 |
| 3 | 0,24 | 0,61 | 0,76 | 0,39 | 0,86 | 1,06 | 0,43 | 1,01 | 1,21 |
| 4 | 0,29 | 0,69 | 0,85 | 0,30 | 0,63 | 0,74 | 0,41 | 0,92 | 1,13 |
| 5 | 0,35 | 0,78 | 0,94 | 0,34 | 0,73 | 0,84 | 0,44 | 1,01 | 1,22 |
| 6 | 0,28 | 0,66 | 0,80 | 0,38 | 0,79 | 0,92 | 0,43 | 0,99 | 1,81 |
| Média | 0,30 | 0,71 | 0,86 | 0,34 | 0,73 | 0,86 | 0,43 | 1,01 | 1,32 |
| CP | (T – 0P – 0,10A) | | | (T – 5P – 0,10A) | | | (T – 15P – 0,10A) | | |
| | A10min | A60min | A90min | A10min | A60min | A90min | A10min | A60min | A90min |
| 1 | 0,27 | 0,66 | 0,80 | 0,41 | 0,94 | 1,13 | 0,42 | 0,95 | 1,15 |
| 2 | 0,27 | 0,64 | 0,79 | 0,46 | 1,01 | 1,22 | 0,41 | 0,90 | 1,09 |
| 3 | 0,31 | 0,73 | 0,88 | 0,44 | 0,94 | 1,12 | 0,43 | 1,01 | 1,20 |
| 4 | 0,28 | 0,67 | 0,80 | 0,48 | 1,03 | 1,23 | 0,43 | 0,97 | 1,19 |
| 5 | 0,31 | 0,69 | 0,83 | 0,46 | 0,96 | 1,14 | 0,43 | 0,94 | 1,14 |
| 6 | 0,27 | 0,62 | 0,74 | 0,37 | 0,81 | 0,98 | 0,40 | 0,87 | 1,06 |
| Média | 0,29 | 0,67 | 0,81 | 0,44 | 0,95 | 1,13 | 0,42 | 0,94 | 1,14 |
| CP | (T – 0P – 0,15A) | | | (T – 5P – 0,15A) | | | (T – 15P – 0,15A) | | |
| | A10min | A60min | A90min | A10min | A60min | A90min | A10min | A60min | A90min |
| 1 | 0,29 | 0,69 | 0,84 | 0,40 | 0,85 | 1,01 | 0,30 | 0,68 | 0,82 |
| 2 | 0,33 | 0,77 | 0,93 | 0,43 | 0,88 | 1,05 | 0,33 | 0,79 | 0,97 |
| 3 | 0,26 | 0,65 | 0,80 | 0,41 | 0,88 | 1,05 | 0,34 | 0,81 | 0,96 |
| 4 | 0,36 | 0,74 | 0,89 | 0,44 | 0,88 | 1,03 | 0,33 | 0,77 | 0,93 |
| 5 | 0,32 | 0,74 | 0,91 | 0,41 | 0,80 | 0,94 | 0,33 | 0,77 | 0,92 |
| 6 | - | - | - | 0,46 | 0,89 | 1,06 | 0,33 | 0,78 | 0,94 |
| Média | 0,31 | 0,72 | 0,87 | 0,43 | 0,86 | 1,02 | 0,33 | 0,77 | 0,92 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice G – Resultados Completos: Ensaio de determinação do coeficiente de capilaridade das argamassas.

Tabela 27 – Dados completos: Coeficiente de capilaridade das argamassas

| Coeficiente de Capilaridade (g/dm ² .min ^{1/2}) | | | | | | | | | |
|--|------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|-------------------|---------|---------|
| CP | (T – 0P – 0A) | | | (T – 5P – 0A) | | | (T – 15P – 0A) | | |
| | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 |
| 1 | 8,10 | 11,90 | 3,80 | 7,70 | 10,50 | 2,80 | 8,60 | 11,50 | 2,90 |
| 2 | 7,40 | 10,50 | 3,10 | 4,70 | 10,40 | 5,70 | 8,50 | 11,50 | 3,00 |
| 3 | 6,00 | 9,60 | 3,60 | 7,60 | 10,20 | 2,60 | 8,40 | 11,30 | 2,90 |
| 4 | 7,70 | 11,30 | 3,60 | 7,90 | 10,80 | 2,90 | 8,70 | 11,90 | 3,20 |
| 5 | 8,50 | 10,80 | 2,30 | 7,50 | 10,00 | 2,50 | 8,50 | 11,60 | 3,10 |
| 6 | 8,60 | 11,40 | 2,80 | 8,10 | 11,00 | 2,90 | 8,60 | 11,60 | 3,00 |
| Média | 7,72 | 10,92 | 3,20 | 7,25 | 10,48 | 3,23 | 8,55 | 11,57 | 3,02 |
| CP | (T – 0P – 0,05A) | | | (T – 5P – 0,05A) | | | (T – 15P – 0,05A) | | |
| | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 |
| 1 | 7,70 | 10,50 | 2,80 | 6,10 | 8,20 | 2,10 | 9,20 | 12,60 | 3,40 |
| 2 | 6,40 | 8,70 | 2,30 | 6,10 | 8,20 | 2,10 | 10,10 | 13,70 | 3,60 |
| 3 | 6,00 | 8,30 | 2,30 | 7,50 | 10,60 | 3,10 | 9,30 | 12,50 | 3,20 |
| 4 | 6,40 | 9,00 | 2,60 | 5,20 | 7,00 | 1,80 | 8,20 | 11,50 | 3,30 |
| 5 | 6,80 | 9,40 | 2,60 | 6,10 | 8,00 | 1,90 | 9,10 | 12,50 | 3,40 |
| 6 | 6,00 | 8,30 | 2,30 | 6,50 | 8,60 | 2,10 | 9,00 | 22,10 | 13,10 |
| Média | 6,55 | 9,03 | 2,48 | 6,25 | 8,43 | 2,18 | 9,15 | 14,15 | 5,00 |
| CP | (T – 0P – 0,10A) | | | (T – 5P – 0,10A) | | | (T – 15P – 0,10A) | | |
| | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 |
| 1 | 6,10 | 8,40 | 2,30 | 8,50 | 11,50 | 3,00 | 8,50 | 11,70 | 3,20 |
| 2 | 6,00 | 8,30 | 2,30 | 8,90 | 12,20 | 3,30 | 7,90 | 10,90 | 3,00 |
| 3 | 6,80 | 9,10 | 2,30 | 7,90 | 10,80 | 2,90 | 9,30 | 12,30 | 3,00 |
| 4 | 6,20 | 8,30 | 2,10 | 8,80 | 11,90 | 3,10 | 8,70 | 12,10 | 3,40 |
| 5 | 6,10 | 8,30 | 2,20 | 8,10 | 11,00 | 2,90 | 8,20 | 11,40 | 3,20 |
| 6 | 5,50 | 7,40 | 1,90 | 7,10 | 9,70 | 2,60 | 7,50 | 10,60 | 3,10 |
| Média | 6,12 | 8,30 | 2,18 | 8,22 | 11,18 | 2,97 | 8,35 | 11,50 | 3,15 |
| CP | (T – 0P – 0,15A) | | | (T – 5P – 0,15A) | | | (T – 15P – 0,15A) | | |
| | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 | C 60-10 | C 90-10 | C 90-60 |
| 1 | 6,30 | 8,70 | 2,40 | 7,20 | 9,70 | 2,50 | 6,10 | 8,30 | 2,20 |
| 2 | 7,00 | 9,60 | 2,60 | 7,20 | 9,90 | 2,70 | 7,30 | 10,30 | 3,00 |
| 3 | 6,20 | 8,60 | 2,40 | 7,50 | 10,20 | 2,70 | 7,50 | 10,00 | 2,50 |
| 4 | 6,10 | 8,40 | 2,30 | 7,00 | 9,30 | 2,30 | 7,10 | 9,60 | 2,50 |
| 5 | 6,80 | 9,40 | 2,60 | 6,20 | 8,50 | 2,30 | 7,10 | 9,40 | 2,30 |
| 6 | - | - | - | 7,00 | 9,60 | 2,60 | 7,20 | 9,80 | 2,60 |
| Média | 6,48 | 8,94 | 2,46 | 7,02 | 9,53 | 2,52 | 7,05 | 9,57 | 2,52 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice H – Resultados Completos: Ensaio de determinação da absorção de água das argamassas pelo método do cachimbo dos traços T – 0P – 0A, T – 5P – 0A, T – 15P – 0A, T – 0P – 0,05A, T – 5P – 0,05A e T – 15P – 0,05A.

Tabela 28 – Dados completos: Absorção de água pelo método do cachimbo A

| Absorção de água – Método do Cachimbo (ml) | | | | | | | | | | | |
|---|-------|----------|-------|---------------|----------------|--------------------------|-------|----------|-------|---------------|----------------|
| (T – 0P – 0A) | | | | | | (T – 5P – 0A) | | | | | |
| T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) | T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,1 |
| 2 | 3,5 | 2,2 | 3,5 | 2,1 | 2,25 | 5 | 3,2 | 5 | 3 | 5 | 3,1 |
| 10 | - | 10 | - | 10 | - | 6 | 3,5 | 6,1 | 3,5 | 6,1 | 3,5 |
| 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - |
| (T – 15P – 0A) | | | | | | (T – 0P – 0,05A) | | | | | |
| T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) | T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 3,4 | 5 | 3,3 | 5 | 3,4 | 2 | 3,5 | 2 | 3,5 | 2 | 3,5 |
| 5,1 | 3,5 | 5,2 | 3,5 | 5,2 | 3,5 | 10 | - | 10 | - | 10 | - |
| 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - |
| (T – 5P – 0,05A) | | | | | | (T – 15P – 0,05A) | | | | | |
| T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) | T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 3,3 | 5 | 3,3 | 5 | 3,3 | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 2 |
| 6 | 3,5 | 6 | 3,2 | 6 | 3,4 | 10 | 3,5 | 10 | 3,5 | 10 | 3,5 |
| 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice I – Resultados Completos: Ensaio de determinação da absorção de água das argamassas pelo método do cachimbo dos traços T – 0P – 0,10A, T – 5P – 0,10A, T – 15P – 0,10A, T – 0P – 0,15A, T – 5P – 0,15A e T – 15P – 0,15A.

Tabela 29 – Dados completos: Absorção de água pelo método do cachimbo B

| Absorção de água – Método do Cachimbo (ml) | | | | | | | | | | | |
|---|----------|-------------|----------|---------------------|----------------------|-------------------------|----------|-------------|----------|---------------------|----------------------|
| (T – 0P – 0,10A) | | | | | | (T – 5P – 0,10A) | | | | | |
| T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) | T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 3,5 | 4 | 3,5 | 4 | 3,5 | 4 | 3,5 | 4 | 3,5 | 4 | 3,5 |
| 10 | - | 10 | - | 10 | - | 10 | - | 10 | - | 10 | - |
| 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - |
| (T – 15P – 0,10A) | | | | | | (T – 0P – 0,15A) | | | | | |
| T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) | T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 3,5 | 4 | 3,5 | 4 | 3,5 | 5 | 2,4 | 5 | 2,7 | 5 | 2,6 |
| 10 | - | 10 | - | 10 | - | 7 | 3,5 | 6 | 3,5 | 6,5 | 3,5 |
| 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - |
| (T – 5P – 0,05A) | | | | | | (T – 5P – 0,15A) | | | | | |
| T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) | T1 (min) | ABS 1 | T2 (min) | ABS 2 | T médio (min) | ABS média (ml) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 3,5 | 4 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 5 | 2,3 | 5 | 2,2 | 5 | 2,3 |
| 10 | - | 10 | - | 10 | - | 8 | 3,5 | 8 | 3,5 | 8 | 3,5 |
| 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - | 15 | - |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice J – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão das argamassas

Tabela 30 – Dados completos: Resistência à tração na flexão

| Resistência à tração na flexão (MPa) | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|-----------|-------------------|------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|
| CP | (T – 0P – 0A) | | | (T – 5P – 0A) | | | (T – 15P – 0A) | | |
| | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) |
| 1 | 100 | 380,00 | 0,89 | 100 | 217,00 | 0,51 | 100 | 353,00 | 0,83 |
| 2 | 100 | 387,00 | 0,91 | 100 | 353,00 | 0,83 | 100 | 339,00 | 0,80 |
| 3 | 100 | 319,00 | 0,75 | 100 | 366,00 | 0,86 | 100 | 394,00 | 0,92 |
| 4 | 100 | 353,00 | 0,83 | 100 | 400,00 | 0,94 | 100 | 305,00 | 0,72 |
| 5 | 100 | 326,00 | 0,76 | 100 | 312,00 | 0,73 | 100 | 319,00 | 0,70 |
| 6 | 100 | 380,00 | 0,89 | 100 | 373,00 | 0,87 | 100 | 421,00 | 0,99 |
| Média | - | 357,50 | 0,84 | - | 336,83 | 0,79 | - | 355,17 | 0,83 |
| CP | (T – 0P – 0,05A) | | | (T – 5P – 0,05A) | | | (T – 15P – 0,05A) | | |
| | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) |
| 1 | 100 | 428,00 | 1,00 | 100 | 495,00 | 1,16 | 100 | 292,00 | 0,68 |
| 2 | 100 | 461,00 | 1,08 | 100 | 461,00 | 1,08 | 100 | 292,00 | 0,68 |
| 3 | 100 | 448,00 | 1,05 | 100 | 312,00 | 0,73 | 100 | 278,00 | 0,65 |
| 4 | 100 | 366,00 | 0,86 | 100 | 414,00 | 0,97 | 100 | 326,00 | 0,76 |
| 5 | 100 | 434,00 | 1,02 | 100 | 407,00 | 0,95 | 100 | 81,00 | 0,19 |
| 6 | 100 | 441,00 | 1,03 | 100 | 353,00 | 0,83 | 100 | 285,00 | 0,67 |
| Média | - | 429,67 | 1,01 | - | 407,00 | 0,95 | - | 259,00 | 0,61 |
| CP | (T – 0P – 0,10A) | | | (T – 5P – 0,10A) | | | (T – 15P – 0,10A) | | |
| | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) |
| 1 | 100 | 475,00 | 1,11 | 100 | 217,00 | 0,51 | 100 | 244,00 | 0,57 |
| 2 | 100 | 373,00 | 0,87 | 100 | 319,00 | 0,75 | 100 | 292,00 | 0,68 |
| 3 | 100 | 319,00 | 0,75 | 100 | 278,00 | 0,65 | 100 | 251,00 | 0,59 |
| 4 | 100 | 387,00 | 0,91 | 100 | 292,00 | 0,68 | 100 | 305,00 | 0,72 |
| 5 | 100 | 360,00 | 0,84 | 100 | 285,00 | 0,67 | 100 | 292,00 | 0,68 |
| 6 | 100 | 448,00 | 1,05 | 100 | 265,00 | 0,62 | 100 | 292,00 | 0,68 |
| Média | - | 393,67 | 0,92 | - | 276,00 | 0,65 | - | 279,33 | 0,65 |
| CP | (T – 0P – 0,15A) | | | (T – 5P – 0,15A) | | | (T – 15P – 0,15A) | | |
| | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) | L (mm) | Força (N) | Resistência (MPa) |
| 1 | 100 | 414,00 | 0,97 | 100 | 278,00 | 0,65 | 100 | 400,00 | 0,94 |
| 2 | 100 | 353,00 | 0,83 | 100 | 319,00 | 0,75 | 100 | 360,00 | 0,84 |
| 3 | 100 | 387,00 | 0,91 | 100 | 271,00 | 0,64 | 100 | 353,00 | 0,83 |
| 4 | 100 | 292,00 | 0,68 | 100 | 326,00 | 0,76 | 100 | 360,00 | 0,84 |
| 5 | 100 | 319,00 | 0,75 | 100 | 373,00 | 0,87 | 100 | 400,00 | 0,94 |
| 6 | - | - | - | 100 | 305,00 | 0,72 | 100 | 366,00 | 0,86 |
| Média | - | 353,00 | 0,83 | - | 312,00 | 0,73 | - | 373,17 | 0,88 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice K – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência à compressão axial dos traços T – 0P – 0A, T – 0P – 0,05A, T – 5P – 0A, T – 5P – 0,05A, T – 15P – 0A e T – 15P – 0,05A.

Tabela 31 – Dados completos: Resistência à compressão axial A

| Resistência à compressão axial (MPa) | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------|-------------------|-------------------------|-----------|-------------------|--------------------------|-----------|-------------------|
| CP | (T – 0P – 0A) | | | (T – 5P – 0A) | | | (T – 15P – 0A) | | |
| | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) |
| 1 | 1600 | 3936 | 2,46 | 1600 | 4526 | 2,83 | 1600 | 4404 | 2,75 |
| 2 | 1600 | 5985 | 3,74 | 1600 | 6636 | 4,15 | 1600 | 6107 | 3,82 |
| 3 | 1600 | 6195 | 3,87 | 1600 | 6779 | 4,24 | 1600 | 4377 | 2,74 |
| 4 | 1600 | 4363 | 2,73 | 1600 | 4526 | 2,83 | 1600 | 6236 | 3,90 |
| 5 | 1600 | 8258 | 5,16 | 1600 | 7159 | 4,47 | 1600 | 4519 | 2,82 |
| 6 | 1600 | 4777 | 2,99 | 1600 | 4947 | 3,09 | 1600 | 6236 | 3,90 |
| 7 | 1600 | 7281 | 4,55 | 1600 | 6935 | 4,33 | 1600 | 4418 | 2,76 |
| 8 | 1600 | 4261 | 2,66 | 1600 | 4499 | 2,81 | 1600 | 6711 | 4,19 |
| 9 | 1600 | 7797 | 4,87 | 1600 | 7396 | 4,62 | 1600 | 5999 | 3,75 |
| 10 | 1600 | 4472 | 2,79 | 1600 | 5089 | 3,18 | 1600 | 6277 | 3,92 |
| 11 | 1600 | 4126 | 2,58 | 1600 | 5822 | 3,64 | 1600 | 4363 | 2,73 |
| 12 | 1600 | 6141 | 3,84 | 1600 | 4601 | 2,88 | 1600 | 4777 | 2,99 |
| Média | - | 5633 | 3,52 | - | 5743 | 3,59 | - | 5369 | 3,36 |
| CP | (T – 0P – 0,05A) | | | (T – 5P – 0,05A) | | | (T – 15P – 0,05A) | | |
| | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) |
| 1 | 1600 | 6358 | 3,97 | 1600 | 4960 | 3,10 | 1600 | 3373 | 2,11 |
| 2 | 1600 | 3617 | 2,26 | 1600 | 6650 | 4,16 | 1600 | 3786 | 2,37 |
| 3 | 1600 | 5116 | 3,20 | 1600 | 6413 | 4,01 | 1600 | 3827 | 2,39 |
| 4 | 1600 | 7091 | 4,43 | 1600 | 4533 | 2,83 | 1600 | 4485 | 2,80 |
| 5 | 1600 | 5157 | 3,22 | 1600 | 5944 | 3,72 | 1600 | 2830 | 1,77 |
| 6 | 1600 | 6508 | 4,07 | 1600 | 4058 | 2,54 | 1600 | 4465 | 2,79 |
| 7 | 1600 | 4404 | 2,75 | 1600 | 5944 | 3,72 | 1600 | 3529 | 2,21 |
| 8 | 1600 | 6053 | 3,78 | 1600 | 4628 | 2,89 | 1600 | 5625 | 3,52 |
| 9 | 1600 | 4221 | 2,64 | 1600 | 6372 | 3,98 | 1600 | 3596 | 2,25 |
| 10 | 1600 | 6589 | 4,12 | 1600 | 4811 | 3,01 | 1600 | 5313 | 3,32 |
| 11 | 1600 | 4587 | 2,87 | 1600 | 5829 | 3,64 | 1600 | 3440 | 2,15 |
| 12 | 1600 | 7770 | 4,86 | 1600 | 3759 | 2,35 | 1600 | 4526 | 2,83 |
| Média | - | 5623 | 3,51 | - | 5325 | 3,33 | - | 4066 | 2,54 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice L – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência à compressão axial dos traços T – 0P – 0,10A, T – 0P – 0,15A, T – 5P – 0,10A, T – 5P – 0,15A, T – 15P – 0,10A e T – 15P – 0,15A.

Tabela 32 – Dados completos: Resistência à compressão axial B

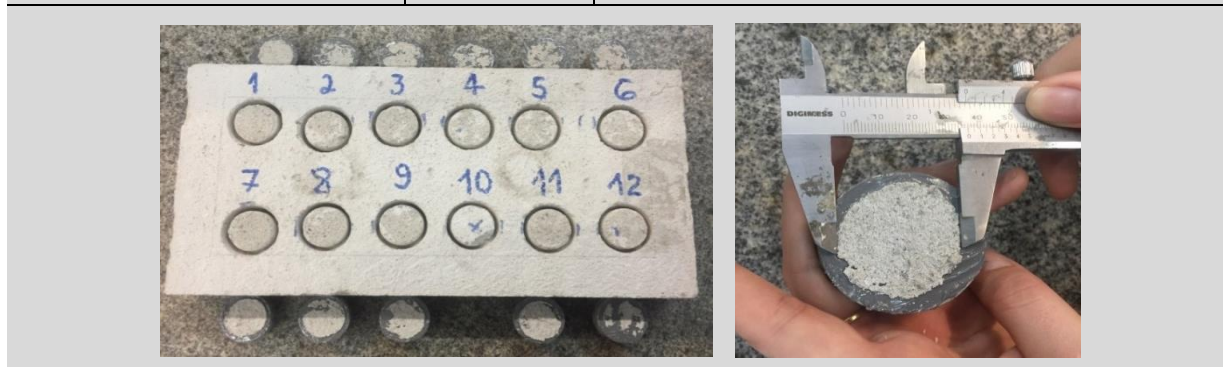
| Resistência à compressão axial (MPa) | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------|-------------------|-------------------------|-----------|-------------------|--------------------------|-----------|-------------------|
| CP | (T – 0P – 0,10A) | | | (T – 5P – 0,10A) | | | (T – 15P – 0,10A) | | |
| | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) |
| 1 | 1600 | 6419 | 4,01 | 1600 | 2836 | 1,77 | 1600 | 4404 | 2,75 |
| 2 | 1600 | 3854 | 2,41 | 1600 | 4119 | 2,57 | 1600 | 2809 | 1,76 |
| 3 | 1600 | 5910 | 3,67 | 1600 | 4146 | 2,59 | 1600 | 4709 | 2,94 |
| 4 | 1600 | 4038 | 2,52 | 1600 | 2640 | 1,65 | 1600 | 3386 | 2,12 |
| 5 | 1600 | 2928 | 3,72 | 1600 | 4567 | 2,85 | 1600 | 4092 | 2,56 |
| 6 | 1600 | 4139 | 2,59 | 1600 | 2884 | 1,80 | 1600 | 3047 | 1,90 |
| 7 | 1600 | 4920 | 3,07 | 1600 | 4438 | 2,77 | 1600 | 3047 | 1,90 |
| 8 | 1600 | 4051 | 2,53 | 1600 | 2911 | 1,82 | 1600 | 3535 | 2,21 |
| 9 | 1600 | 3753 | 2,35 | 1600 | 4560 | 2,85 | 1600 | 4431 | 2,77 |
| 10 | 1600 | 5863 | 3,66 | 1600 | 3305 | 2,07 | 1600 | 2599 | 1,62 |
| 11 | 1600 | 5646 | 3,53 | 1600 | 4363 | 2,73 | 1600 | 4608 | 2,88 |
| 12 | 1600 | 4384 | 2,74 | 1600 | 3040 | 1,90 | 1600 | 3244 | 2,03 |
| Média | - | 4659 | 3,07 | - | 3651 | 2,28 | - | 3659 | 2,29 |
| CP | (T – 0P – 0,15A) | | | (T – 5P – 0,15A) | | | (T – 15P – 0,15A) | | |
| | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) | Área (mm ²) | Força (N) | Resistência (MPa) |
| 1 | 1600 | 4309 | 2,69 | 1600 | 5150 | 3,22 | 1600 | 3318 | 2,07 |
| 2 | 1600 | 2741 | 1,71 | 1600 | 3780 | 2,36 | 1600 | 4831 | 3,02 |
| 3 | 1600 | 4126 | 2,58 | 1600 | 5259 | 3,29 | 1600 | 4173 | 2,61 |
| 4 | 1600 | 3671 | 2,29 | 1600 | 3549 | 2,22 | 1600 | 3047 | 1,90 |
| 5 | 1600 | 3651 | 2,28 | 1600 | 4730 | 2,96 | 1600 | 4438 | 2,77 |
| 6 | 1600 | 4608 | 2,88 | 1600 | 3298 | 2,06 | 1600 | 3033 | 1,90 |
| 7 | 1600 | 2775 | 1,73 | 1600 | 4798 | 3,00 | 1600 | 2782 | 1,74 |
| 8 | 1600 | 4879 | 3,05 | 1600 | 3542 | 2,21 | 1600 | 4343 | 2,71 |
| 9 | 1600 | 5008 | 3,13 | 1600 | 5476 | 3,42 | 1600 | 2762 | 1,73 |
| 10 | 1600 | 3556 | 2,22 | 1600 | 4126 | 2,58 | 1600 | 3970 | 2,48 |
| 11 | 1600 | 4709 | 2,95 | 1600 | 3501 | 2,19 | 1600 | 4214 | 2,63 |
| 12 | 1600 | 3630 | 2,27 | 1600 | 6324 | 3,95 | 1600 | 3189 | 1,99 |
| Média | - | 3972 | 2,48 | - | 4461 | 2,79 | - | 3675 | 2,30 |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice M – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 0P – 0A.

Tabela 33 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 0P – 0A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------|--------------------------------|--|-----|-----|-------|-------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T - 0P - 0A | | | | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) |
| Amostra | | | | | | | | |
| 1 | 1094,7 | 588,40 | 0,54 | | | | 100 | |
| 2 | 907,9 | 235,36 | 0,26 | | | | 75 | 25 |
| 3 | 1174,3 | 676,66 | 0,58 | | | | 75 | 25 |
| 4 | 1055,9 | 372,65 | 0,35 | | | | 60 | 40 |
| 5 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 6 | 1277,7 | 225,55 | 0,18 | | | | 75 | 25 |
| 7 | 1194,6 | 323,62 | 0,27 | | | | 100 | |
| 8 | 1174,3 | 431,49 | 0,37 | | | | 85 | 15 |
| 9 | 855,3 | 441,30 | 0,52 | | | | 80 | 20 |
| 10 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 11 | 1174,3 | 362,85 | 0,31 | | | | 98 | 2 |
| 12 | 1094,7 | 156,91 | 0,14 | | | | 25 | 75 |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,35 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,15 | (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 42,8 | | | | | |

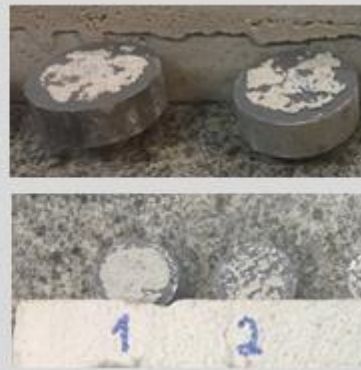


Fonte: Elaboração própria

Apêndice N – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 0P – 0,05A.

Tabela 34 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 0P – 0,05A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------|--------------------------------|--|-----|-------|-------|-------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| Amostra | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| T -0P - 0,05A | | | | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | | | | |
| 1 | 1174,3 | 304,006 | 0,26 | | | | 100 | |
| 2 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 3 | 1055,9 | 343,233 | 0,33 | | | | 25 | 75 |
| 4 | 999,1 | 362,846 | 0,36 | | | | 50 | 50 |
| 5 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 6 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 7 | 838,1 | 264,78 | 0,32 | | | | 85 | 15 |
| 8 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 9 | 890,2 | 156,906 | 0,18 | | | | 30 | 70 |
| 10 | 754,8 | 176,52 | 0,23 | | | | 30 | 70 |
| 11 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 12 | 907,9 | 333,426 | 0,37 | | | | 25 | 75 |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,29 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,07 | (C/P) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 24,4 | | | | | |

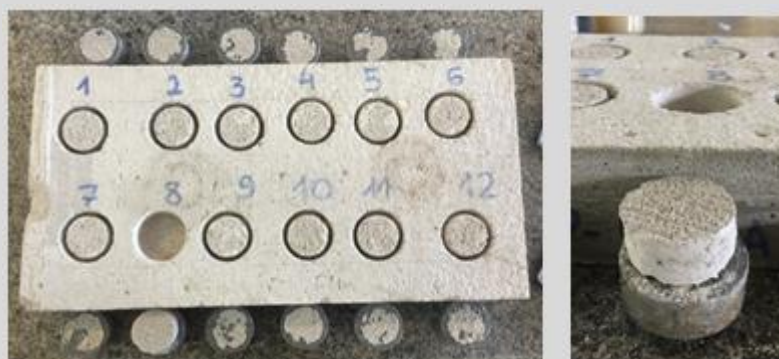


Fonte: Elaboração própria

Apêndice O – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 0P – 0,10A.

Tabela 35 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 0P – 0,10A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|--|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----|-------|-------|-------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T -0P - 0,10A | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| Amostra | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | | | | | | | |
| 1 | 1298,874 | 627,63 | 0,48 | | | | 98 | 2 |
| 2 | 1174,258 | 470,72 | 0,40 | | | | 90 | 10 |
| 3 | 1215,098 | 323,62 | 0,27 | | | | 96 | 4 |
| 4 | 1194,591 | 421,69 | 0,35 | | | | 98 | 2 |
| 5 | 1215,098 | 137,29 | 0,11 | | | | 75 | 25 |
| 6 | 925,8099 | 480,53 | 0,52 | | | | 80 | 20 |
| 7 | 675,7915 | 343,23 | 0,51 | | | | 75 | 25 |
| 8 | 1407,521 | 490,33 | 0,35 | | | 100 | | |
| 9 | 980,526 | 343,23 | 0,35 | | | | 95 | 5 |
| 10 | 1154,099 | 421,69 | 0,37 | | | | 95 | 5 |
| 11 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 12 | 1094,671 | 362,85 | 0,33 | | | | 93 | 7 |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,37 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,12 | (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 31,6 | | | | | |



Fonte: Elaboração própria

Apêndice P – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 0P – 0,15A.

Tabela 36 – Dados completos: Resistência de aderência à tração traço do T – 0P – 0,15A

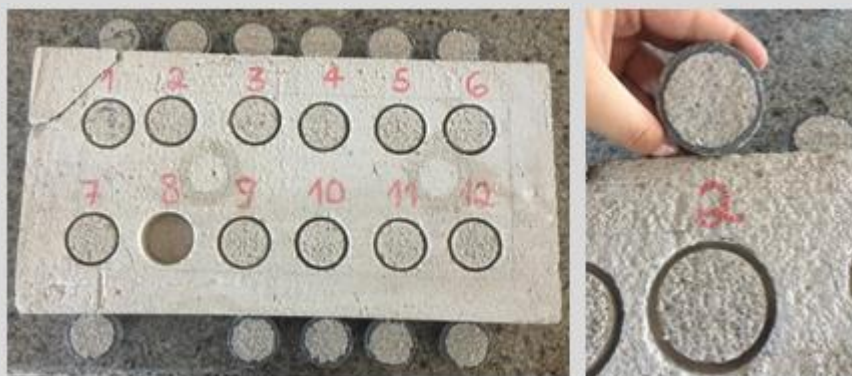
| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|--|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----|-------|-------|-------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T -0P - 0,15A | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| Amostra | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | | | | | | | |
| 1 | 1277,67 | 451,11 | 0,35 | | | | 98 | 2 |
| 2 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 3 | 1363,54 | 353,04 | 0,26 | | | | 100 | |
| 4 | 1036,81 | 313,81 | 0,30 | | | | 75 | 25 |
| 5 | 1256,64 | 323,62 | 0,26 | | | | 96 | 4 |
| 6 | 1154,10 | 353,04 | 0,31 | | | | 98 | 2 |
| 7 | 630,50 | 264,78 | 0,42 | | | | 65 | 100 |
| 8 | 1036,81 | 333,43 | 0,32 | | | | 95 | 5 |
| 9 | 1094,67 | 353,04 | 0,32 | | | | 98 | 2 |
| 10 | 821,09 | 294,20 | 0,36 | | | | 65 | 35 |
| 11 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 12 | 1174,26 | 490,33 | 0,42 | | | | 98 | 2 |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,33 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,06 | (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 17,1 | | | | | |

Fonte: Elaboração própria

Apêndice Q – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 5P – 0A.

Tabela 37 – Dados completos: Resistência de aderência à tração traço do T – 5P – 0A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T - 5P - 0A | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| Amostra | | | | (A) - Argamassa | (S) - Substrato | (A/S) - Interface Argamassa/Substrato | (A/C) - Interface Argamassa/Cola | (C/P) - Interface Cola/Pastilha |
| 1 | 1385,4 | 411,88 | 0,30 | | | | 97 | 3 |
| 2 | 1543,7 | 460,91 | 0,30 | | | | 100 | |
| 3 | 1235,8 | 411,88 | 0,33 | | | | 100 | |
| 4 | 1298,9 | 598,21 | 0,46 | | | | 100 | |
| 5 | 1341,8 | 470,72 | 0,35 | | | | 100 | |
| 6 | 1256,6 | 558,98 | 0,44 | | | | 100 | |
| 7 | 1256,6 | 382,46 | 0,30 | | | | 100 | |
| 8 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 9 | 1298,9 | 460,91 | 0,35 | | | | 100 | |
| 10 | 1235,8 | 539,37 | 0,44 | | | | 98 | 2 |
| 11 | 1174,3 | 500,14 | 0,43 | | | | 100 | |
| 12 | 1277,7 | 402,07 | 0,31 | | | | 100 | |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,37 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,06 | (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 17,5 | | | | | |

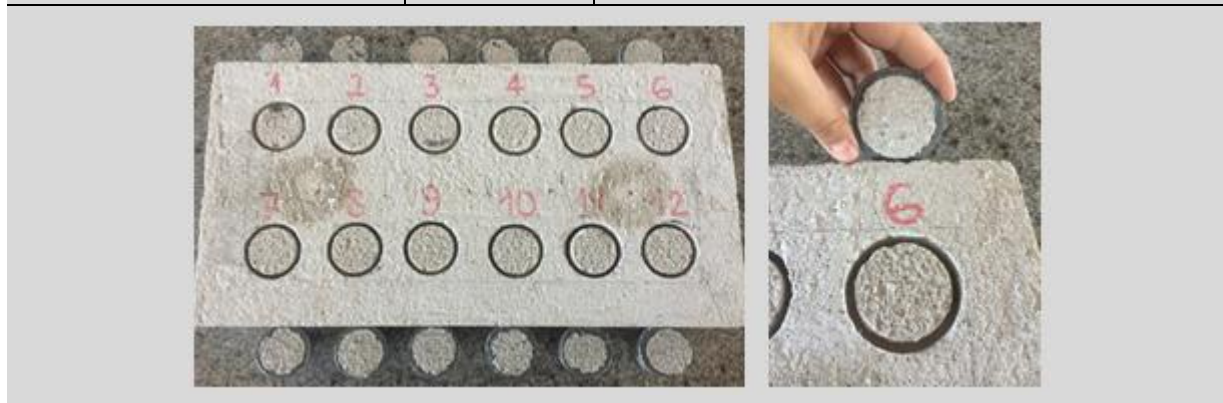


Fonte: Elaboração própria

Apêndice R – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 5P – 0,05A.

Tabela 38 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 5P – 0,05A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|--|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----|-------|-------|-------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T - 5P - 0,05A | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| Amostra | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | | | | | | | |
| 1 | 1235,78 | 441,30 | 0,36 | | | | 90 | 10 |
| 2 | 1215,098 | 362,85 | 0,30 | | | | 95 | 5 |
| 3 | 1036,813 | 431,49 | 0,42 | | | | 100 | |
| 4 | 962,1128 | 441,30 | 0,46 | | | | 98 | 2 |
| 5 | 1298,874 | 549,17 | 0,42 | | | | 100 | |
| 6 | 1298,874 | 637,43 | 0,49 | | | | 100 | |
| 7 | 1215,098 | 558,98 | 0,46 | | | | 98 | 2 |
| 8 | 1256,637 | 529,56 | 0,42 | | | | 100 | |
| 9 | 1215,098 | 500,14 | 0,41 | | | | 100 | |
| 10 | 1256,637 | 421,69 | 0,34 | | | | 98 | 2 |
| 11 | 1134,115 | 549,17 | 0,48 | | | | 97 | 3 |
| 12 | 1256,637 | 529,56 | 0,42 | | | | 100 | |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,41 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,06 | (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 14,1 | | | | | |



Fonte: Elaboração própria

Apêndice S – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 5P – 0,10A.

Tabela 39 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 5P – 0,10A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|--|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----|-------|-------|-------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T - 5P - 0,10A | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| Amostra | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | | | | | | | |
| 1 | 1235,8 | 666,852 | 0,54 | | | | 100 | |
| 2 | 1194,6 | 519,752 | 0,44 | | | | 100 | |
| 3 | 1407,5 | 490,333 | 0,35 | | | 100 | | |
| 4 | 1154,1 | 519,752 | 0,45 | | | | 100 | |
| 5 | 1418,6 | 392,266 | 0,28 | | | 100 | | |
| 6 | 1385,4 | 411,879 | 0,30 | | | 100 | | |
| 7 | 838,1 | 333,426 | 0,40 | | | | 50 | 50 |
| 8 | 1094,7 | 323,619 | 0,30 | | | | 100 | |
| 9 | 1497,6 | 480,526 | 0,32 | | | 100 | | |
| 10 | 1429,8 | 441,299 | 0,31 | | | 100 | | |
| 11 | 1407,5 | 304,006 | 0,22 | | | 100 | | |
| 12 | 1174,3 | 578,592 | 0,49 | | | | 100 | |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,36 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,10 | (A/S) e (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 26,8 | | | | | |



Fonte: Elaboração própria

Apêndice T – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 5P – 0,15A.

Tabela 40 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 5P – 0,15A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|--|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----|-------|-------|-------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T - 5P - 0,15A | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| Amostra | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | | | | | | | |
| 1 | 1055,9 | 441,30 | 0,42 | | | | 100 | |
| 2 | 1114,3 | 362,85 | 0,33 | | | | 100 | |
| 3 | 1429,8 | 402,07 | 0,28 | | | 100 | | |
| 4 | 1407,5 | 402,07 | 0,29 | | | 100 | | |
| 5 | 1017,9 | 392,27 | 0,39 | | | | 95 | 5 |
| 6 | 1452,2 | 372,65 | 0,26 | | | 100 | | |
| 7 | 1075,2 | 274,59 | 0,26 | | | | 95 | 5 |
| 8 | 872,7 | 362,85 | 0,42 | | | | 8 | 15 |
| 9 | 1452,2 | 539,37 | 0,37 | | | 100 | | |
| 10 | 1277,7 | 460,91 | 0,36 | | | | 100 | |
| 11 | 1215,1 | 539,37 | 0,44 | | | | 100 | |
| 12 | 1452,2 | 353,04 | 0,24 | | | 100 | | |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,34 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,07 | (A/S) e (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 21,2 | | | | | |

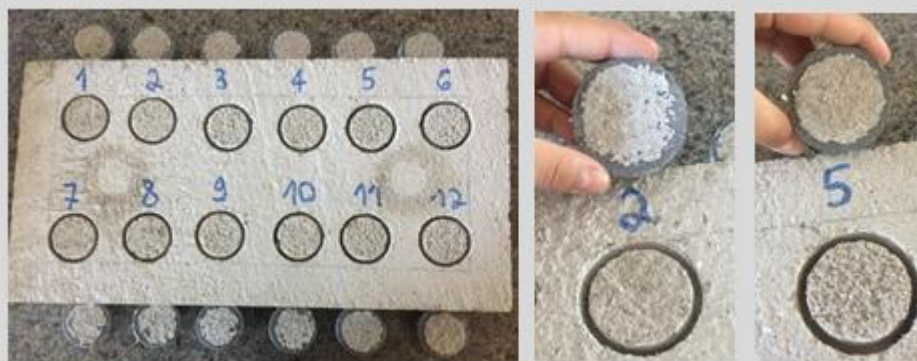


Fonte: Elaboração própria

Apêndice U – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 15P – 0A.

Tabela 41 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 15P – 0A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T - 15P - 0A | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| Amostra | | | | (A) - Argamassa | (S) - Substrato | (A/S) - Interface Argamassa/Substrato | (A/C) - Interface Argamassa/Cola | (C/P) - Interface Cola/Pastilha |
| 1 | 1341,8 | 441,30 | 0,33 | | | | 100 | |
| 2 | 1407,5 | 402,07 | 0,29 | | | | 100 | |
| 3 | 1215,1 | 284,39 | 0,23 | | | | 100 | |
| 4 | 1277,7 | 539,37 | 0,42 | | | | 100 | |
| 5 | 1341,8 | 372,65 | 0,28 | | | | 100 | |
| 6 | 1396,5 | 353,04 | 0,25 | | | | 100 | |
| 7 | 1235,8 | 372,65 | 0,30 | | | | 95 | 5 |
| 8 | 1341,8 | 392,27 | 0,29 | | | | 95 | 5 |
| 9 | 1055,9 | 411,88 | 0,39 | | | | 98 | 2 |
| 10 | 1215,1 | 294,20 | 0,24 | | | | 98 | 2 |
| 11 | 1235,8 | 392,27 | 0,32 | | | | 100 | |
| 12 | 1298,9 | 460,91 | 0,35 | | | | 100 | |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,31 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,06 | (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 18,8 | | | | | |

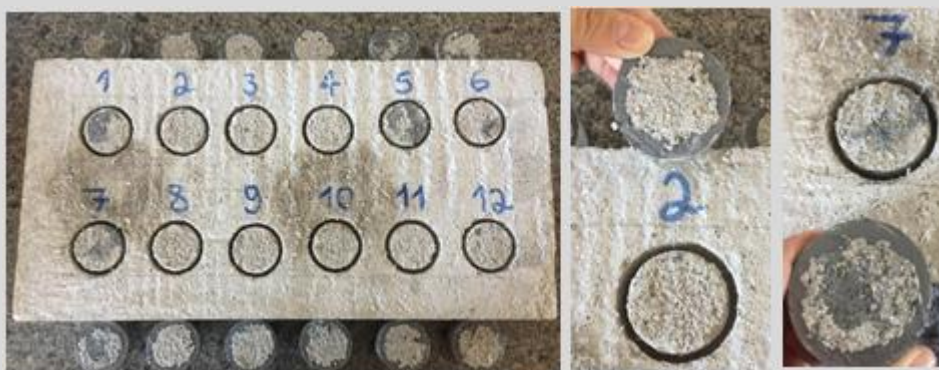


Fonte: Elaboração própria

Apêndice V – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 15P – 0,05A.

Tabela 42 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 15P – 0,05A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-----------|--------------------------------|--|-----|-------|-------|-------|----|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | | |
| Amostra | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) | |
| T - 15P - 0,05A | | | | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | | | | | |
| | 1 | 1320,3 | 264,78 | 0,20 | | | | 50 | 50 |
| | 2 | 907,9 | 274,59 | 0,30 | | | | 90 | 10 |
| | 3 | 1194,6 | 353,04 | 0,30 | | | | 100 | |
| | 4 | 1134,1 | 441,30 | 0,39 | | | | 95 | 5 |
| | 5 | 787,6 | 274,59 | 0,35 | | | | 5 | 95 |
| | 6 | 1017,9 | 254,97 | 0,25 | | | | 95 | 5 |
| | 7 | 1094,7 | 323,62 | 0,30 | | | | 93 | 7 |
| | 8 | 1154,1 | 509,95 | 0,44 | | | | 98 | 2 |
| | 9 | 1256,6 | 264,78 | 0,21 | | | | 98 | 2 |
| | 10 | 1114,3 | 421,69 | 0,38 | | | | 98 | 2 |
| | 11 | 1174,3 | 294,20 | 0,25 | | | | 98 | 2 |
| 12 | 1215,1 | 294,20 | 0,24 | | | | 98 | 2 | |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,30 | Ruptura predominante | | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,08 | (A/C) | | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 25,1 | | | | | | |

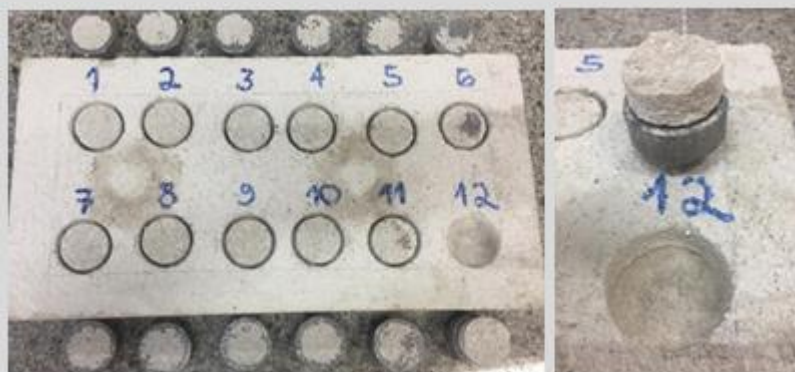


Fonte: Elaboração própria

Apêndice X – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 15P – 0,10A.

Tabela 43 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 15P – 0,10A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|--|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----|-------|-------|-------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T - 15P - 0,10A | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| Amostra | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | | | | | | | |
| 1 | 1363,54 | 441,30 | 0,32 | | | | 100 | |
| 2 | 1320,25 | 402,07 | 0,30 | | | | 100 | |
| 3 | 1075,21 | 284,39 | 0,26 | | | | 98 | 2 |
| 4 | 1134,11 | 333,43 | 0,29 | | | | 95 | 5 |
| 5 | 1055,92 | 274,59 | 0,26 | | | | 95 | 5 |
| 6 | 572,56 | 353,04 | 0,62 | | | | 30 | 70 |
| 7 | 1174,26 | 353,04 | 0,30 | | | | 100 | |
| 8 | 1134,11 | 235,36 | 0,21 | | | | 99 | 1 |
| 9 | 1154,10 | 441,30 | 0,38 | | | | 99 | 1 |
| 10 | 1174,26 | 411,88 | 0,35 | | | | 100 | |
| 11 | 1154,10 | 264,78 | 0,23 | | | | 95 | 5 |
| 12 | 1452,20 | 264,78 | 0,18 | 100 | | | | |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,31 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,11 | (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 36,3 | | | | | |



Fonte: Elaboração própria

Apêndice Z – Resultados Completos: Ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração do traço T – 15P – 0,15A.

Tabela 44 – Dados completos: Resistência de aderência à tração do traço T – 15P – 0,15A

| Resistência de aderência à tração (MPa) | | | | | | | | |
|---|--|-----------|--------------------------------|-----------------------------|-----|-------|-------|-------|
| Traço | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência de Aderência (MPa) | Forma de Ruptura (%) | | | | |
| T - 15P - 0,15A | | | | (A) | (S) | (A/S) | (A/C) | (C/P) |
| Amostra | (A) - Argamassa (S) - Substrato (A/S) - Interface Argamassa/Substrato (A/C) - Interface Argamassa/Cola (C/P) - Interface Cola/Pastilha | | | | | | | |
| 1 | 1215,10 | 333,43 | 0,27 | | | | 100 | |
| 2 | 1215,10 | 362,85 | 0,30 | | | | 95 | 5 |
| 3 | 691,24 | 470,719 | 0,68 | | | | 90 | 10 |
| 4 | 1134,11 | 402,073 | 0,35 | | | | 95 | 5 |
| 5 | 1134,11 | 490,333 | 0,43 | | | | 95 | 5 |
| 6 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 7 | 1134,11 | 470,719 | 0,42 | | | | 98 | 2 |
| 8 | 1194,59 | 254,973 | 0,21 | | | | 98 | 2 |
| 9 | 1094,67 | 372,653 | 0,34 | | | | 98 | 2 |
| 10 | 1235,78 | 362,846 | 0,29 | | | | 98 | 2 |
| 11 | - | - | - | Amostra não ensaiada | | | | |
| 12 | 1036,81 | 254,973 | 0,25 | | | | 95 | 5 |
| Resistência Média (MPa) | | | 0,35 | Ruptura predominante | | | | |
| Desvio Padrão | | | 0,13 | (A/C) | | | | |
| Coefficiente de Variação (%) | | | 37,7 | | | | | |

Fonte: Elaboração própria