



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA

TAYZI SOARES MARIOTI

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
E TOTAL DA AREIA POR RESÍDUO RECICLADO DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO UTILIZANDO UM PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO

Joinville
2024

TAYZI SOARES MARIOTI

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
E TOTAL DA AREIA POR RESÍDUO RECICLADO DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO UTILIZANDO UM PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil
de Infraestrutura no Centro Tecnológico de
Joinville, da Universidade Federal de Santa
Catarina.

Orientador: Dr. Luciano Senff

Coorientador: Eng. Vinicius Ramon Krause

Joinville

2024

TAYZI SOARES MARIOTI

ANÁLISE DE DESEMPENHO DE ARGAMASSAS COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL
E TOTAL DA AREIA POR RESÍDUO RECICLADO DE CONSTRUÇÃO E
DEMOLIÇÃO UTILIZANDO UM PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil de Infraestrutura no Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 17 de Junho de 2023.

Banca examinadora



Prof. Dr. Luciano Senff

Universidade Federal de Santa Catarina
Orientador/Presidente



Eng. Vinicius Ramon Krause

Universidade Federal de Santa Catarina
Coorientador



Profa. Dra. Valéria Bennack

Universidade Federal de Santa Catarina
Membra



Eng. Me. Julia da Rosa Martins

Universidade Federal de Santa Catarina

Membra



Eng. Dra. Francielly Roussenq Cesconeto

Universidade de Aveiro

Membra

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as bênçãos recebidas e por me conceder sabedoria e resiliência nos momentos de dificuldade.

À minha família, em especial aos meus pais Anilto e Sirley, por todo amor e incentivo ao longo desses anos, que foram os verdadeiros impulsionadores e uma motivação diária para a realização deste sonho.

Ao meu esposo, Mateus Franciosi, que esteve ao meu lado durante todo esse ciclo, agradeço o amor, paciência e companheirismo ao longo dos anos.

À Universidade Federal de Santa Catarina, por permitir o acesso a educação gratuita e de qualidade.

Ao meu orientador, Luciano Senff, pelo tempo dedicado e conhecimentos transmitidos que foram fundamentais para minha jornada acadêmica.

Ao meu coorientador Vinicius Ramon Krause, por todo suporte concedido na realização deste trabalho.

Agradeço a empresa Terraplenagem Medeiros, por fornecer o resíduo reciclado.

À Perville Engenharia, pelo espaço cedido, em especial à Leticia Meurer, pelo auxílio na realização dos ensaios.

Aos colegas da UFSC, especialmente, à Maria Eduarda Sagaz por todo o auxílio no laboratório, e aqueles que contribuíram indiretamente, tornando a caminhada mais leve ao longo de todos esses anos, Heloisa Prestes, Chiara Benvenuti, Ana Beatriz Rudnick e Ana Carolina Lorenzatto.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho, muito obrigada.

RESUMO

A construção civil é um dos setores de maior impacto econômico mundial, porém, esse impacto também se reflete significativamente no meio ambiente devido à alta geração de resíduos. Em resposta a isso, busca-se alternativas sustentáveis para o desenvolvimento do setor. O uso de resíduos reciclados de construção em materiais cimentícios, como argamassas, aborda tanto o desafio da correta destinação dos resíduos gerados em obras quanto a dificuldade de obtenção de areia natural. Este trabalho apresenta uma investigação sobre a substituição parcial e total dos agregados miúdos por resíduo reciclado de construção e demolição em argamassas, focando na resistência mecânica e nas propriedades físicas. Foram produzidas argamassas convencionais e argamassas com substituição em teores de 25%, 50%, 75% e 100% do agregado miúdo convencional por resíduos reciclados, utilizando a proporção convencional de 1:3. Com essas misturas, foram realizados ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão e análises das propriedades físicas. Os resultados obtidos foram validados pela metodologia estatística ANOVA e mostram que embora o incremento do resíduo tenha influenciado de forma significativa todas as propriedades, os resultados de resistência mecânica são considerados satisfatórios. Os traços contendo 100% de RCD alcançaram resistência à compressão superior a 11 MPa e resistência à tração na flexão superior a 3,5 MPa. **Palavras-chave:** Argamassa. Resíduos de construção e demolição. Resistência Mecânica. ANOVA.

ABSTRACT

The construction industry is one of the sectors with the greatest global economic impact; however, this impact also significantly affects the environment due to high waste generation. In response to this, sustainable alternatives are being sought for sector development. The use of recycled construction waste in cementitious materials, such as mortars, addresses both the challenge of proper disposal of waste generated in construction and the difficulty in obtaining natural sand. This work presents an investigation into the partial and total replacement of fine aggregates with recycled construction and demolition waste in mortars, focusing on mechanical strength and physical properties. Conventional mortars and mortars with replacements at levels of 25%, 50%, 75%, and 100% of conventional fine aggregate with recycled waste were produced using the conventional ratio of 1:3. Compression strength tests, flexural tensile strength tests, and analyses of physical properties were conducted with these mixtures. The results obtained were validated using ANOVA statistical methodology and show that, although the increase in waste significantly influenced all properties, the mechanical strength results are considered satisfactory. Mixtures containing 100% recycled construction waste achieved a compression strength exceeding 11 MPa and a flexural tensile strength exceeding 3,5 MPa.

Keywords: Mortar. Construction and demolition waste. Mechanical strength. ANOVA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação dos resíduos de construção	23
Figura 2- a) Armazenamento RCD b) Processo de beneficiamento RCD	26
Figura 3 - Fluxograma de etapas experimentais	27
Figura 4 - Conjunto de peneiras usadas no ensaio de granulometria	29
Figura 5 a) Recipiente vazio b) Recipiente + areia c) Recipiente + RCD	30
Figura 6 - a) Recipiente vazio b) Recipiente + RCD c) Recipiente + RCD + água	33
Figura 7 – a) Corpos de prova recém moldados b) Corpos de prova antes da desmoldagem c) Corpos de prova em processo de cura ao ar	36
Figura 8 - Medição do diâmetro de abertura de uma das argamassas usadas no presente estudo.....	37
Figura 9 – Corpo de prova em argamassa ensaiado à tração na flexão	38
Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão de uma das argamassas estudadas	40
Figura 11 - Corpos de prova em argamassa para o ensaio de Arquimedes	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do cimento CP IV 32 usado neste trabalho	25
Tabela 2 - Classificação peneiras série normal e intermediária	28
Tabela 3 – Traços das argamassas em massa (kg).....	34
Tabela 4 – Massa unitária e específica dos agregados	45
Tabela 5 – Média flow table para cada traço.....	46
Tabela 6 - a) ANOVA absorção de água b) Médias pareadas absorção de água.....	51
Tabela 7 – Classe de densidade das argamassas.....	54
Tabela 8 – a) ANOVA densidade aparente b) Médias pareadas densidade aparente	54
Tabela 9 – a) Análise de variância porosidade aberta b) Médias pareadas porosidade aberta	57
Tabela 10 - Análise de variância a) Resistência à compressão b) Tração na flexão	58
Tabela 11 - Médias pareadas resistência à compressão	61
Tabela 12 – Classificação de argamassas de acordo com a resistência à compressão	62
Tabela 13 - Médias pareadas tração na flexão	64
Tabela 14 – Classificação das argamassas de acordo com a resistência à tração na flexão.....	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica dos agregados miúdos	44
Gráfico 2 – Perda de massa.....	47
Gráfico 3 - Tendência à normalidade dos resultados de a) Absorção de água b) Porosidade aberta c) Densidade Aparente	48
Gráfico 4 – Dispersão dos resultados de absorção de água das argamassas.....	49
Gráfico 5 - a) Absorção de água x mistura b) Absorção de água x tempo c) absorção de água x mistura e tempo.....	50
Gráfico 6 – Dispersão dos resultados de densidade aparente das argamassas.....	52
Gráfico 7 a) Densidade aparente x mistura b) Densidade aparente x tempo c) Densidade aparente x mistura e tempo.....	53
Gráfico 8 – Dispersão dos resultados de Porosidade Aberta	55
Gráfico 9 - a) Porosidade aberta x mistura b) Porosidade aberta x tempo c) Porosidade aberta x mistura e tempo.....	56
Gráfico 10 - Gráfico de tendência à normalidade dos resultados de a) Resistência à compressão b) Tração na flexão	58
Gráfico 11 - Dispersão dos resultados de resistência à compressão	59
Gráfico 12 – a) Variação da resistência à compressão x mistura b) Variação da resistência à compressão x tempo c) Variação da resistência à compressão versus tempo e mistura.....	60
Gráfico 13 - Dispersão resultados de resistência à tração na flexão.....	62
Gráfico 14 - a) Resistência à tração na flexão x mistura b) Resistência à tração na flexão x tempo c) Resistência à tração na flexão x tempo e mistura	63
Gráfico 15 - Resistência à flexão x porosidade aberta b) Resistência à compressão x porosidade aberta	65
Gráfico 16 - Resistência à flexão x densidade aparente b) Resistência à compressão x densidade aparente	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
°C	Graus Celsius
cm ³	Centímetros cúbicos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
g	Gramas
g/cm ³	Gramas por centímetros cúbicos
h	horas
m	Metros
mm	Milímetros
<i>m</i> ₁	Massa do recipiente com material
<i>m</i> ₂	Massa do recipiente
RCD	Resíduos de construção e demolição
V	Volume do cilindro
µm	Micrômetro
<i>ρ_{ap}</i>	Massa unitária (g/cm ³);
δ	Massa específica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	ARGAMASSAS	16
2.1.1	Propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido	17
2.1.1.1	<i>Trabalhabilidade</i>	17
2.1.1.2	<i>Densidade aparente e teor de ar incorporado</i>	18
2.1.1.3	<i>Retração na secagem</i>	19
2.1.1.4	<i>Resistência mecânica</i>	19
2.1.1.5	<i>Permeabilidade</i>	20
2.1.1.6	<i>Capacidade de absorver deformações</i>	20
2.2	AGREGADO MIÚDO NATURAL - AREIA.....	20
2.3	CIMENTO PORTLAND	21
2.4	RESÍDUOS RECICLADOS E DEMOLIÇÃO – RCD.....	22
3	METODOLOGIA	24
3.1	MATERIAIS.....	24
3.1.1	Cimento Portland CP IV F-32	24
3.1.2	Água	25
3.1.3	Areia Média	25
3.1.4	Resíduo reciclado de construção e demolição (RCD)	25
3.2	METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	26
3.2.1	Distribuição granulométrica dos agregados	27
3.2.2	Massa unitária dos agregados	29
3.2.3	Massa específica e absorção de água dos agregados	30
3.3	DOSAGEM DAS ARGAMASSAS E EXECUÇÃO	33
3.3.1	Mistura dos componentes	34
3.3.2	Moldagem dos corpos de prova	35
3.3.3	Ensaio das argamassas no estado fresco	36
3.3.3.1	<i>Mesa de índice de consistência – Flow Table</i>	36
3.3.4	Ensaio das argamassas no estado endurecido	37

3.3.4.1	<i>Resistência à tração na flexão das argamassas</i>	38
3.3.4.2	<i>Resistência à compressão das argamassas</i>	39
3.3.4.3	<i>Ensaio de determinação de perda de massa ao longo do tempo</i>	40
3.3.5	Propriedades físicas das argamassas: absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente	41
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS (ANOVA)	43
4	. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS	44
4.1.1	Massa específica e massa unitária dos agregados	45
4.2	ARGAMASSA – PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO 46	
4.2.1	Ensaio do índice de consistência (Flow table)	46
4.2.2	Ensaio da perda de massa ao longo do tempo para as argamassas ...	47
4.3	PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ARGAMASSAS	48
4.3.1	Absorção de água das argamassas	49
4.3.2	Densidade aparente das argamassas	51
4.3.3	Porosidade aberta das argamassas	55
4.4	RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS ARGAMASSAS	57
4.4.1	Resistência à Compressão das argamassas	59
4.4.2	Resistência a Tração na Flexão	62
4.5	RESISTÊNCIA MECÂNICA VERSUS PROPRIEDADES FÍSICAS	65
4.5.1	Porosidade aberta x Resistência mecânica	65
4.5.2	Densidade Aparente x Resistência mecânica	66
5	CONCLUSÃO	68
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	69
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das principais atividades econômicas globais, mas, embora este setor seja crucial para o desenvolvimento econômico, ele também é um dos que mais causam impactos ambientais, principalmente pela elevada geração de resíduos de construção e demolição (RCD) e pelo intenso consumo de recursos naturais (Lima, et al.; 2016).

Contudo, a sustentabilidade ganhou relevância mundial, e desenvolver a economia de forma sustentável é o atual desafio da humanidade. O desperdício e o uso indiscriminado de recursos e de energia não devem mais fazer parte do contexto do desenvolvimento econômico mundial (Barreto, 2020).

Com o intuito de promover a sustentabilidade no setor, a construção civil tem buscado alternativas para reduzir os impactos ambientais das obras, que começam na extração de matérias-primas e se estendem até a produção e destinação final dos resíduos. Profissionais da área estão cada vez mais dedicando tempo e recursos a pesquisas que visam a utilização de materiais alternativos para atender às necessidades da construção civil (Lima, et al.; 2016).

Diante desse cenário, diversas pesquisas vêm sendo conduzidas para avaliar a possibilidade de utilizar os resíduos de construção e demolição como matéria-prima para a fabricação de materiais cimentícios, reinserindo esses materiais na própria cadeia produtiva da construção (Santana; Pereira, 2020).

Os resíduos de construção e demolição incluem materiais como concreto, tijolos, telhas e outros componentes que podem ser reaproveitados ou reciclados. Ao incorporar esses resíduos em materiais de construção, especialmente em argamassas, é possível reduzir a extração de recursos naturais, como a areia, e ao mesmo tempo, oferecer uma solução viável para a gestão de resíduos no setor da construção, trazendo benefícios ambientais, sociais e econômicos (Oliveira; Pereira, 2018).

A incorporação dos agregados reciclados na fabricação de materiais cimentícios, como argamassas, tem se revelado como uma opção viável (Santana; Pereira, 2020).

Pesquisas realizadas por Jimenez et al. (2013) e Ledesma et al. (2016) apontaram a possibilidade de substituição do agregado miúdo por RCD em argamassas em teores de até 50%.

Entretanto, as pesquisas dependem das especificidades do tipo de resíduo e do teor de material adicionado à argamassa. Na literatura, a maioria das pesquisas concentra-se na substituição parcial do agregado miúdo natural por RCD enquanto analisa os impactos dessa substituição nas propriedades das argamassas. No entanto, a substituição total dos agregados naturais pelos reciclados ainda é pouco explorada.

Visando ampliar as soluções para reaproveitamento de RCD e sua confiabilidade, este trabalho se propõe a estudar as argamassas sem a utilização de aditivos, com substituição parcial e total de areia natural por agregado miúdo reciclado, de forma a se obter resultados concisos quanto à influência desse material no desempenho das argamassas.

1.1 OBJETIVOS

Com o intuito de avaliar o impacto da adição do RCD no desempenho mecânico das argamassas, propõe-se os seguintes objetivos:

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência da substituição parcial e total do agregado miúdo por resíduo de construção e demolição na argamassa a partir de suas propriedades físicas e mecânicas mediante os resultados de ensaios laboratoriais característicos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o agregado natural (areia) e o resíduo reciclado de construção e demolição através de ensaios de granulometria, massa unitária, densidade aparente e absorção de água;
- Definir diversas dosagens de substituição da areia por resíduo de construção e demolição em percentuais entre 0 e 100% em massa;
- Avaliar o comportamento das argamassas no estado fresco através do índice de consistência *flow table*;

- Produzir corpos de prova prismáticos para aferir as propriedades físicas (absorção de água, densidade aparente e porosidade aberta) e mecânicas (resistência à compressão e à tração na flexão) das argamassas aos 7 e 28 dias de cura;
- Empregar a metodologia estatística (ANOVA) para validação dos resultados;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos relevantes à incorporação de resíduo reciclado de construção civil às argamassas. Inicia-se com os conceitos relacionados à produção das argamassas e suas propriedades importantes em estado fresco e endurecido. Em seguida, aborda-se os principais constituintes das argamassas, sendo eles: cimento e agregado miúdo (areia), e por fim apresenta-se o conceito de RCD.

2.1 ARGAMASSAS

As argamassas são materiais amplamente utilizados na construção civil e segundo a *European Mortar Industry Organization* (EMO, 2024), é desafiador estabelecer uma definição única para elas devido às suas diversas aplicações, que resultam em materiais com características e propriedades distintas.

Apesar dessa dificuldade, a Associação Brasileira de Normas Técnicas através da NBR 13529 (ABNT, 2013), define as argamassas da seguinte forma “Argamassa é uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água, contendo ou não aditivos e adições, com propriedades de aderência e endurecimento.” (p. 03).

As argamassas são principalmente utilizadas nas etapas de revestimento, como emboço, reboco ou revestimento de camada única, além do assentamento de alvenarias (Carasek, 2010).

De modo geral, esses são materiais sem forma ou função bem definidas. Particularmente, as argamassas de assentamento embora não tenham uma forma definida, possuem uma função específica: são utilizadas para o assentamento de componentes de alvenaria, de forma a unir todas as unidades, constituindo um todo monolítico (Sabbatini, 1998).

Conseqüentemente, as argamassas de assentamento também têm responsabilidade de unir solidamente as unidades de alvenaria, ajudar a resistir aos esforços laterais, distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede, absorver as deformações naturais a que a alvenaria está sujeita e selar as juntas contra a penetração da água da chuva (Sabbatini, 1998).

Já as argamassas de revestimento, além do aspecto estético, têm a função de proteger os elementos estruturais de vedação contra a ação de intempéries, contribuindo significativamente para a durabilidade das construções (Colombo et al.; 2020).

O revestimento de argamassa exerce papel importante no desempenho global de edificações e constitui parte integrante do sistema de vedação, sendo caracterizado como um conjunto de elementos, justapostos entre si que devem conferir proteção direta à edificação. Esse revestimento pode ser composto por uma única camada ou diversas camadas com características e funções específicas (Lopes, 2013).

As principais funções do revestimento incluem, proteger a estrutura contra ação do intemperismo, contribuir para o isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água, segurança contra fogo e regularização da superfície dos elementos de vedação (Carasek, 2010).

Nesse contexto, pode-se afirmar que as argamassas, tanto de revestimento quanto de assentamento, desempenham um papel importante em um edifício. Para que essas funções sejam desempenhadas de maneira satisfatória, existem propriedades no estado fresco e endurecido que precisam ser atendidas (Carasek, 2010).

2.1.1 Propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido

2.1.1.1 *Trabalhabilidade*

De acordo com Carasek (2010), a trabalhabilidade é a propriedade da argamassa no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas de forma homogênea. Ou seja, uma argamassa pode ser considerada “trabalhável” quando permite que o pedreiro ou aplicador execute de forma satisfatória o seu trabalho.

Sabbatini (1998) afirma que, qualitativamente, uma argamassa que tem boa trabalhabilidade distribui-se facilmente ao ser assentada, preenchendo todas as reentrâncias, não segrega ao ser transportada e não endurece rapidamente em

contato com um componente de sucção elevada, mantendo-se plástica por tempo suficiente.

Segundo Davison (1974), a trabalhabilidade é a propriedade mais importante da argamassa no estado plástico e pode ser definida como uma combinação de várias propriedades, incluindo plasticidade, consistência e coesão.

Carasek (2010) corrobora, afirmando que a trabalhabilidade é uma propriedade complexa das argamassas, e é resultante do conjunto de diversas propriedades.

2.1.1.2 *Densidade aparente e teor de ar incorporado*

A densidade é definida como a relação entre a massa e o volume de uma argamassa, podendo ser expressa como densidade absoluta ou relativa. Na determinação da densidade absoluta, não são considerados os vazios presentes no volume da argamassa, enquanto na densidade relativa, esses vazios são levados em conta. A densidade desempenha um papel fundamental na dosagem das argamassas, facilitando a conversão do traço em massa para o traço em volume (Maciel; Barros e Sabbatini, 1998).

De acordo com Girardi (2016), quanto menor for a densidade, mais leve a argamassa será, reduzindo o esforço necessário durante a aplicação e potencialmente aumentando a eficiência do trabalho. Essa característica está diretamente ligada à massa específica dos materiais constituintes, principalmente do agregado, e ao teor de ar incorporado.

O teor de ar incorporado corresponde aos vazios formados pela entrada de ar no interior da argamassa. Este ar incorporado favorece a sua trabalhabilidade, entretanto, atua de forma desfavorável em relação às propriedades mecânicas (Mansur e Mansur, 2006).

Essas duas propriedades, massa específica e teor de ar incorporado, influenciam diretamente em outras propriedades da argamassa no estado fresco, como a trabalhabilidade por exemplo. Uma argamassa com menor massa específica e maior teor de ar incorporado apresenta melhor trabalhabilidade (Maciel; Barros e Sabbatini, 1998).

2.1.1.3 *Retração na secagem*

Conforme descrito por Girardi (2016), a retração por secagem é um fenômeno característico de materiais cimentícios e ocorre devido à variação de volume da pasta em decorrência da evaporação da água excedente, este fenômeno influencia no desempenho dos revestimentos de argamassa, principalmente no que diz respeito à sua estanqueidade e durabilidade.

Barreto (2020) descreve que quando a secagem ocorre de forma gradual, a argamassa tem tempo suficiente para alcançar uma resistência a tração adequada, capaz de suportar as tensões internas. No entanto, em condições de secagem rápida, seja em decorrência de condições climáticas ou por conta de um substrato muito absorvente, a rápida evaporação da água resulta na formação de fissuras de retração.

2.1.1.4 *Resistência mecânica*

De acordo com Lapa (2011), a capacidade das argamassas de suportar as tensões de tração, compressão ou cisalhamento é conhecida como resistência mecânica. Essas tensões podem ser geradas por cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes do uso da estrutura, assim como por fenômenos térmicos ou climáticos, dependendo das condições de exposição das superfícies. Reduzir a proporção de agregado na argamassa aumenta a resistência mecânica, que por sua vez varia inversamente com a relação água/cimento do material.

As argamassas precisam ter resistência suficiente para suportar movimentações do substrato, advindas de recalque ou variação dimensional, umedecimento e secagem ou dilatação e contração do próprio revestimento, devido às variações térmicas (Tristão, 1995).

A resistência mecânica depende do consumo e natureza dos agregados e aglomerantes da argamassa empregada e da técnica de execução que busca a compactação da argamassa durante sua aplicação e acabamento (Maciel; Barros e Sabbatini, 1998).

2.1.1.5 *Permeabilidade*

Conforme descrito por Lapa (2011), a permeabilidade é uma propriedade que está relacionada à capacidade do revestimento de permitir a passagem de água, seja no estado líquido ou gasoso, devido à natureza porosa da argamassa. Embora seja crucial que o revestimento seja estanque à passagem de água é vantajoso que ele seja permeável ao vapor, auxiliando na evaporação da umidade. No entanto, quando ocorrem fissuras, decorrentes do desgaste do revestimento a água pode percolar diretamente até a base, comprometendo a eficácia do sistema de vedação.

A permeabilidade em argamassas é uma propriedade que depende da natureza da base, da composição e dosagem da argamassa, da técnica de execução, da espessura da camada de revestimento e do acabamento (Maciel; Barros e Sabbatini, 1998).

2.1.1.6 *Capacidade de absorver deformações*

Para os autores Canedo, Brandão e Peixoto Filho, (2011) as argamassas de revestimento precisam ser capazes de absorver deformações causadas pela ação de tensões de carregamento, variações térmicas ou retração. A capacidade de deformar sem se romper, ou através de microfissuras não prejudiciais, é essencial para preservar propriedades fundamentais da argamassa, tais como, estanqueidade, aderência e durabilidade.

Maciel, Barros e Sabbatini (1998) reforçam que as deformações podem ser de grande ou de pequena amplitude, mas cabe ao revestimento absorver apenas as pequenas deformações, que são decorrentes da ação da umidade ou da temperatura, e não as de grande amplitude que ocorrem em função de outros esforços, como recalques estruturais, por exemplo.

2.2 AGREGADO MIÚDO NATURAL - AREIA

De acordo com a NBR 7211 (2020), caracteriza-se como agregado miúdo os materiais cujos grãos passam pela peneira de 4,8mm e ficam retidos na peneira 0,075mm.

Holsbach (2004), define agregado miúdo como sendo um material granular, sem forma e volume definidos, geralmente inerte, com dimensões, características e propriedades adequadas ao uso da engenharia civil.

No caso das argamassas, o agregado miúdo mais utilizado é a areia natural provenientes de leitos de rios ou cavas, compostas essencialmente por quartzo (Carasek, 2010).

Segundo Arnold (2011), a areia não participa das reações químicas de endurecimento da argamassa, entretanto, interfere pela distribuição granulométrica, teor de filler, forma e textura dos grãos nas propriedades da argamassa fresca e endurecida.

Ishikawa (2003), complementa que além dessas, outras características tecnológicas das areias influenciam diretamente no desempenho das argamassas, sendo elas: massa unitária, teor de umidade e inchamento.

O mesmo autor destaca que, os agregados possuem influência nas argamassas seja técnica ou economicamente. Tecnicamente o agregado atua de forma positiva diminuindo a retração e aumentando a resistência ao desgaste, e economicamente o agregado é mais barato que o cimento, portanto, é mais econômico que se tenha mais agregado que cimento na mistura, em geral, o volume ocupado pelo agregado representa de 60% a 80% do volume total da argamassa.

2.3 CIMENTO PORTLAND

Conforme descrito pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o cimento portland é uma substância em pó fina que possui propriedades aglomerantes, aglutinantes e ligantes, que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja exposto a água, o cimento Portland mantém sua integridade. Sua composição inclui clínquer e adições. O clínquer é uma substância granulada formada pela calcinação da mistura de rocha calcária triturada e argila moída, submetidas a altas temperaturas.

Conforme destacado por Ishikawa (2003), o cimento desempenha papéis fundamentais na argamassa, sendo responsável por garantir resistência à compressão simples, além de assegurar aderência ao substrato e durabilidade.

O mesmo autor descreve ainda que, na composição do cimento Portland, a finura é um fator importante que influencia diretamente na resistência mecânica das

argamassas. Em geral, quanto mais fino o cimento, maior será a resistência mecânica, no entanto, um cimento mais fino pode resultar em maior propensão à fissuração.

Para Carasek (2010), por se tratar de um produto industrializado e submetido a rigorosos padrões de qualidade, é pouco provável que o cimento seja o principal responsável por patologias nas argamassas. Em geral, os problemas potenciais surgem em decorrência de um traço inadequado, e não devido à qualidade do material em si.

De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2002), o cimento Portland é um dos materiais mais consumidos pelo homem e, devido à sua versatilidade, pode ser aplicado em diversos tipos de obras, incluindo barragens, estradas, edificações, pontes, obras de saneamento e pavimentação. Além disso, o cimento Portland é uma matéria-prima essencial para a produção de argamassas e concretos.

2.4 RESÍDUOS RECICLADOS E DEMOLIÇÃO – RCD

A Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 5 de julho de 2002, caracteriza os resíduos reciclados de construção civil como sendo:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002, p. 01).

Além disso, a Resolução nº 307 do CONAMA (2002), define ainda agregado reciclado como sendo um material granular proveniente do beneficiamento do resíduo reciclado que apresenta características técnicas para a aplicação em obras de edificação, infraestrutura ou outras obras de engenharia.

Devido à grande variabilidade dos resíduos provenientes das obras de construção civil, adota-se a separação dos mesmos, de acordo com a mesma resolução, apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Classificação dos resíduos de construção



Fonte: Adaptado de: Gerolli et al. (2021)

Conforme descrito por Girardi (2016), a viabilidade do RCD na produção de agregados reciclados está relacionada à quantidade disponível, à origem do material e às suas propriedades físico-químicas e mecânicas. Tais características variam conforme a composição do resíduo utilizado na sua fabricação.

De acordo com Jochem (2012), os agregados reciclados, em geral, apresentam porosidade mais acentuada em comparação aos agregados naturais derivados de rochas britadas. Essa porosidade tem influência direta na resistência mecânica, nas propriedades físicas, na capacidade de absorção de água e na massa específica aparente de concretos e argamassas. A maior porosidade observada nos RCD pode ser explicada pela presença de elementos como concreto, argamassa, materiais cerâmicos e rocha em sua composição.

Pesquisas realizadas por Jimenez et al. (2013), Girardi (2016), Martinez (2016), Santana e Pereira (2020), e Batista et al. (2022) investigaram a aplicação de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em argamassas. Esses estudos analisaram diferentes aspectos, como a viabilidade técnica, o desempenho mecânico, e as propriedades físicas das argamassas contendo RCD, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis na construção civil.

3 METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de uma pesquisa experimental. Gil (2002) destaca que este método consiste em: “determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.”

Com base nisso, este trabalho propôs estudar o desempenho das argamassas com substituição parcial e total do agregado miúdo por resíduo reciclado de construção civil por meio de ensaios pré-determinados em ambiente laboratorial.

Neste capítulo, será apresentada uma descrição dos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento das argamassas, bem como das etapas experimentais realizadas para a obtenção e análise dos resultados.

Inicialmente, é feita a exposição dos materiais utilizados e suas características e na sequência, a metodologia adotada, onde é apresentado um fluxograma das etapas que compõem o caminho percorrido desde a caracterização dos materiais até os resultados analisados.

3.1 MATERIAIS

Conforme definido anteriormente, a argamassa pode ser caracterizada como uma mistura homogênea de agregados miúdos, aglomerantes inorgânicos e água. Para o desenvolvimento deste trabalho, o aglomerante escolhido foi o cimento Portland pozolânico “CP IV F-32 todas as obras”. Já para os agregados miúdos, utilizou-se areia média-fina e resíduo reciclado de construção e demolição (RCD).

3.1.1 Cimento Portland CP IV F-32

O cimento CP IV F-32 foi escolhido devido à sua ampla utilização e fácil obtenção na região de Joinville. A massa específica deste cimento, de acordo com a empresa produtora, é de 2,92 g/cm³.

Esse produto é normatizado pela NBR 16697 (2018), que apresenta a classificação dos cimentos de acordo com a composição, a classe de resistência e o limite de adições. A classificação do cimento CP IV pode ser verificada na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 - Classificação do cimento CP IV 32 usado neste trabalho

Designação normalizada	Sigla	Classe de resistência	Sufixo	Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material pozolânico	Material carbonático
Cimento Portland pozolânico	CP IV	32	RS	45-85	0	15-50	0-10

Fonte: Adaptado de: NBR 16697 (2018).

O cimento escolhido para elaboração do trabalho se encaixa na classe de resistência 32, e possui o sufixo “RS” que está associado à resistência a sulfatos do aglomerante.

3.1.2 Água

A água utilizada foi obtida através da rede de abastecimento público da Companhia Águas de Joinville, sendo classificada como potável e livre de impurezas.

3.1.3 Areia Média

A ABNT NBR 7211 define agregado miúdo como “Agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR 17054 (2022).

Neste trabalho, a areia média foi escolhida como um dos agregados miúdos utilizados.

3.1.4 Resíduo reciclado de construção e demolição (RCD)

O resíduo de construção civil utilizado como agregado miúdo foi obtido na empresa Terraplenagem Medeiros, sediada em Joinville/SC. Esse material é beneficiado a partir de resíduos coletados em caçambas de obras de construção e demolição. Segundo a classificação apresentada na Figura 1, o resíduo é categorizado como Classe A, sendo composto principalmente por materiais cerâmicos, cimentícios e solos.

A Figura 2 apresenta os detalhes do processo de beneficiamento e do material utilizado.

Figura 2- a) Armazenamento RCD b) Processo de beneficiamento RCD

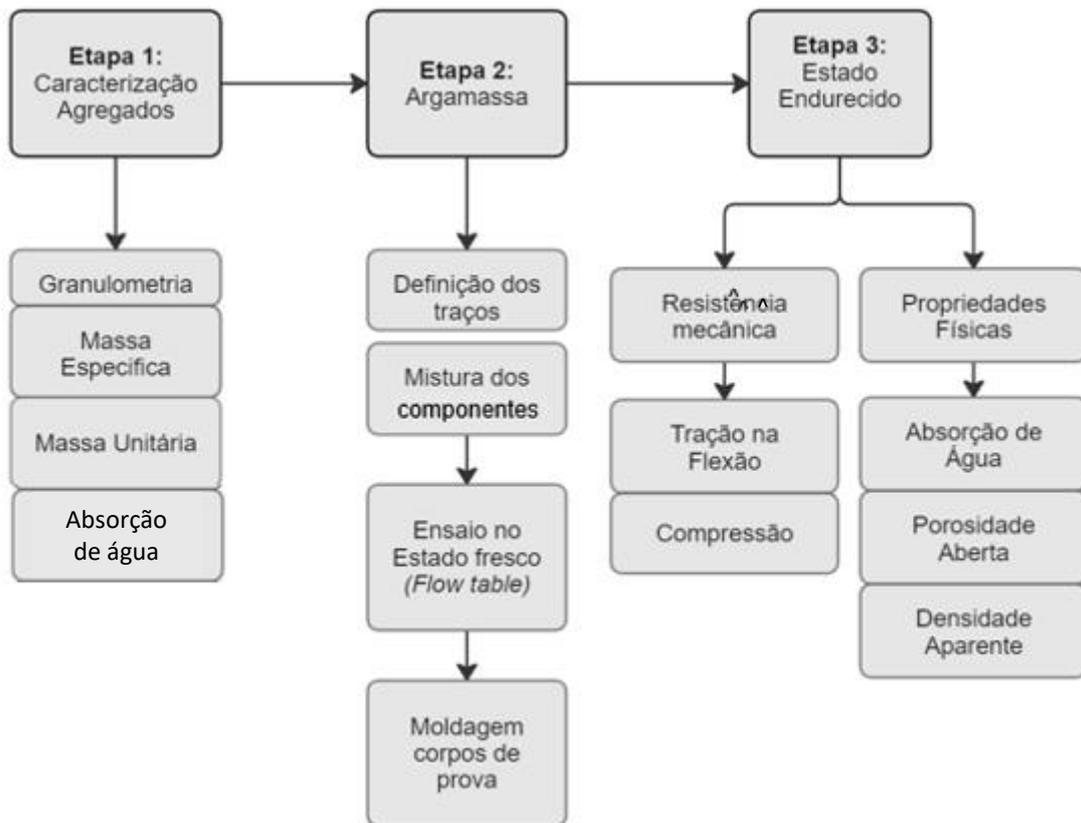


Fonte: Medeiros (2024).

3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

De posse dos materiais, iniciou-se a sequência dos procedimentos e ensaios necessários para a avaliação do desempenho da argamassa com RCD. As etapas que contemplaram a realização do trabalho são apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma de etapas experimentais



Fonte: Autora (2024).

3.2.1 Distribuição granulométrica dos agregados

A distribuição granulométrica consiste no estudo de como ocorre a distribuição de dimensões dos grãos, através de um ensaio normatizado pela NBR 17054 (ABNT, 2022). Esta norma apresenta os equipamentos a serem utilizados e a metodologia do ensaio para sua correta aferição. A Tabela 2 apresenta as séries de peneiras presentes na norma.

Tabela 2 - Classificação peneiras série normal e intermediária

	<i>Série Normal</i>	<i>Série Intermediária</i>
Agregado Graúdo	75 mm	--
	--	63 mm
	--	50 mm
	37,5 mm	--
	--	31,5 mm
	--	25 mm
	19 mm	--
	--	12,5 mm
	9,5 mm	--
	--	6,3 mm
Agregado Miúdo	4,75	--
	2,36	--
	1,18	--
	600 μ m	--
	300 μ m	--
	150 μ m	--
		--

Fonte: NBR 17054 (2022).

Para a realização do ensaio foram separadas duas amostras de cada material, areia média e RCD. Estes materiais foram submetidos a secagem na estufa por um período de 24 horas a uma temperatura de 105 ± 5 °C.

Após o processo na estufa, duas amostras de 500g de cada material foram retiradas e a pesagem foi realizada após atingirem a temperatura ambiente.

Em seguida, cada amostra de 500g foi agitada por um período de 8 minutos em agitador mecânico. Após este período, as peneiras com material retido passaram por pesagem e o valor médio aritmético do peso retido em cada peneira, a partir dos dois ensaios, foi utilizado para traçar a curva de distribuição granulométrica de cada material.

Para o ensaio, as peneiras foram dispostas na ordem de: 6,3mm; 4,75mm, 2,36mm; 1,18mm, 0,6mm; 0,3mm; 0,15mm, 0,075mm além da tampa e fundo. A Figura 4 apresenta o conjunto de peneiras utilizado para determinação da distribuição granulométrica.

Figura 4 - Conjunto de peneiras usadas no ensaio de granulometria



Fonte: Autora (2024).

A partir da curva granulométrica do material, também foi possível aferir a dimensão máxima característica e o módulo de finura dos materiais. Conforme disposto na NBR 17054 (ABNT, 2022), o primeiro é definido pela soma das porcentagens de agregados acumuladas nas peneiras de série normal dividido por 100. Já a dimensão máxima característica é a abertura de peneira correspondente à porcentagem de material retido acumulado igual ou imediatamente inferior a cinco por cento. Esses parâmetros são importantes para caracterizar as propriedades dos materiais estudados.

3.2.2 Massa unitária dos agregados

A relação entre massa e volume ocupado por um agregado considerando o vazio entre grãos é definida como massa unitária.

A NBR 16972 (ABNT, 2021) estabelece o método de ensaio para determinação deste parâmetro, as instruções estabelecidas na norma foram seguidas para a aferição da massa unitária da areia média e resíduo de construção e demolição utilizado.

Inicialmente utilizou-se um cilindro de volume e massa conhecidos, em seguida, o cilindro foi preenchido com o agregado sem compactação e a massa do conjunto foi aferida. O ensaio foi realizado em duplicidade, para cada material, e o resultado foi obtido através da média aritmética dos dois valores encontrados.

A equação da massa unitária é demonstrada a seguir pela Equação 01.

$$\rho_{ap} = \frac{m_1 - m_2}{V} \quad (01)$$

Onde:

ρ_{ap} = Massa unitária (g/cm³);

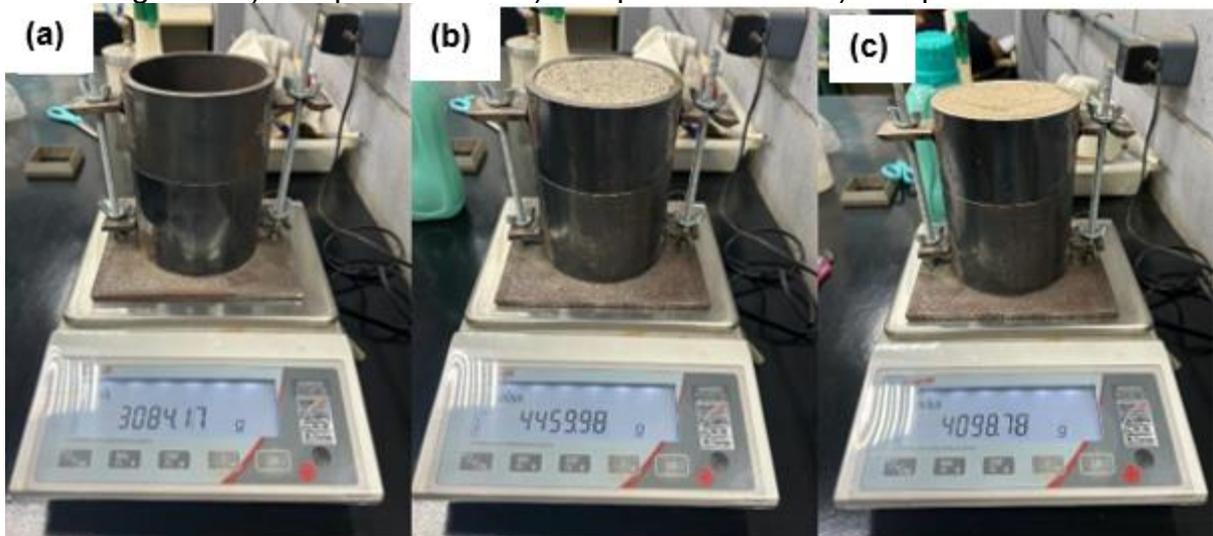
m_1 = Massa do recipiente com material (g)

m_2 = Massa do recipiente (g);

V = Volume do cilindro (cm³)

A realização deste ensaio com areia média e RCD está representada na Figura 5.

Figura 5 a) Recipiente vazio b) Recipiente + areia c) Recipiente + RCD



Fonte: Autora (2024).

3.2.3 Massa específica e absorção de água dos agregados

Os ensaios para determinação da Massa específica seca, massa específica saturada de superfície seca e da absorção de água dos agregados foram realizados de acordo com o descrito na norma NBR 16916 (ABNT, 2021).

Para a realização do ensaio, inicialmente foi preparada uma amostra de 1kg de cada material. A amostra foi espalhada em bandeja e coberta com água, ficando nessa condição por um período de 24h, após este período, procedeu-se com a secagem do material ao ar, revolvendo-a com frequência até que atingisse, a condição saturada de superfície seca, onde os grãos não se encontram fortemente aderidos entre si. Após o processo de secagem, 500g de material foi colocado no picnômetro e a massa do conjunto foi aferida. Em seguida, o frasco foi preenchido com água até a marca dos 500ml e o conjunto foi pesado novamente.

Em seguida, as bolhas foram eliminadas manualmente, agitando-se o picnômetro e o conjunto foi deixado em repouso por um período de 1h. Após esse período, o picnômetro foi preenchido novamente com água até a marca dos 500ml e massa total do conjunto foi aferida.

Concomitantemente a este processo, os outros 500g da mesma amostra foram levados a estufa a uma temperatura de 105 °C por um período de 24 horas. Após esse período, a amostra foi resfriada, e sua massa seca foi aferida.

A massa específica do agregado na condição seca pode ser calculada, pela seguinte equação 02.

$$\rho_s = \frac{m_A}{V - V_a} \quad (02)$$

Onde:

ρ_s = densidade do agregado na condição seca (g/cm³)

m_A = massa da amostra seca em estufa (g)

V = o volume do frasco calibrado em centímetros cúbicos (cm³)

V_a = é o volume de água adicionado ao frasco em centímetros cúbicos, calculado a partir da equação 03.

$$V_a = \frac{MD - MC}{\rho_a} \quad (03)$$

Onde:

MC = massa do conjunto, frasco + massa da amostra na condição saturada superfície seca (g)

MD = massa da amostra + frasco + água (g)

ρ_a = densidade da água na temperatura ambiente (g/cm³)

A densidade do agregado na condição saturado de superfície seca é dada pela seguinte equação 04:

$$\rho_{\text{SSS}} = \frac{m_B}{V - V_a} \quad (04)$$

Onde:

ρ_{SSS} = densidade do agregado na condição saturada de superfície seca (g/cm³)

m_B = massa da amostra na condição saturada de superfície seca (g)

V e V_a = são apresentados no tópico anterior.

Já para a determinação da absorção de água do agregado, foi utilizada a equação 05.

$$\text{Abs} = \frac{m_B - m_A}{m_A} \times 100 \quad (05)$$

Onde:

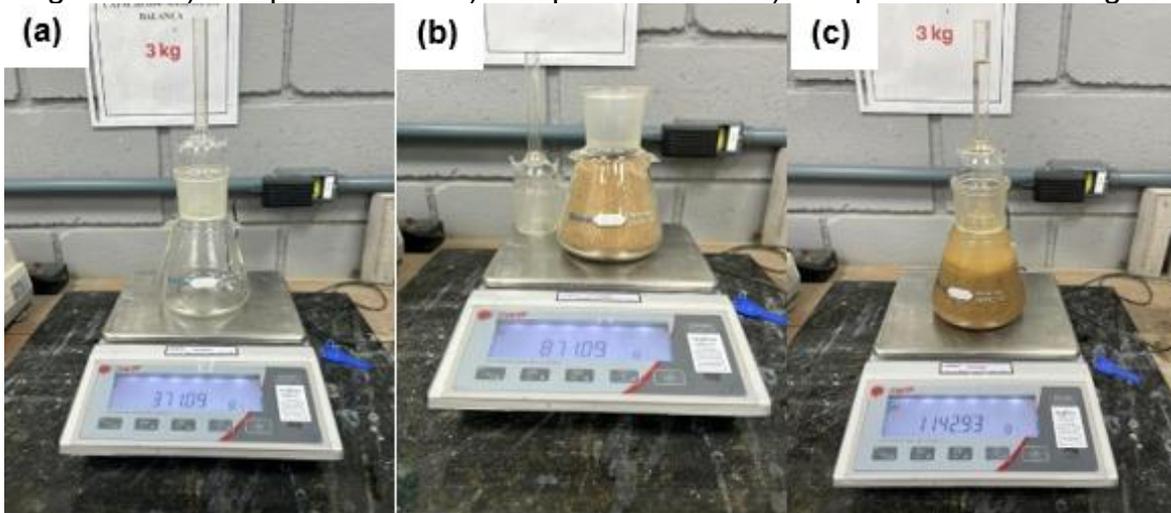
Abs = absorção de água, expressa em porcentagem (%)

m_A = massa da amostra seca em estufa (g)

m_B = massa da amostra na condição saturada de superfície seca (g)

A realização do ensaio de massa específica e absorção de água do RCD está apresentada na Figura 6. Para a determinação da massa específica da areia média foi empregado o mesmo método.

Figura 6 - a) Recipiente vazio b) Recipiente + RCD c) Recipiente + RCD + água



Fonte: Autora (2024).

3.3 DOSAGEM DAS ARGAMASSAS E EXECUÇÃO

Para a definição do traço de argamassa, foi utilizado o procedimento de dosagem experimental, propondo-se a partir de um traço de referência 1:3 (1 parte de cimento para 3 partes de areia), largamente utilizado na construção civil. O traço com 100% de areia em sua composição foi adotado como traço de referência (REF), a partir do qual foram realizadas as substituições parciais da areia por RCD.

Para este trabalho, foi definida a substituição do agregado natural, comumente denominado areia, por RCD em percentuais de 25, 50, 75 e 100% em massa. Entretanto, a massa específica do resíduo reciclado é menor do que a da areia média, resultando em um aumento de volume da mistura. Por este motivo, fez-se necessária a correção da quantidade em massa de RCD a ser utilizada, empregando a metodologia descrita na sequência com o objetivo de manter o mesmo volume para todas as misturas.

Inicialmente, calculou-se a massa de areia referente ao teor de substituição da dosagem. Em seguida, aplicou-se a Equação 06 para determinar a massa de RCD a ser incorporada, considerando a diferença de volume dos dois materiais.

$$m_{\text{RCD}} = \frac{m_{\text{Areia}} \times \delta_{\text{RCD}}}{\delta_{\text{Areia}}} \quad (06)$$

Onde:

m_{RCD} = Massa de RCD (g)

m_{Areia} = Massa de areia (g)

δ_{RCD} = massa específica seca do RCD (g/cm^3)

δ_{Areia} = massa específica seca da areia (g/cm^3)

Para manter a trabalhabilidade, avaliada quantitativamente pelo ensaio de mesa de índice de consistência (*flow table*) a relação água/cimento foi ajustada durante o procedimento para cada traço. Optou-se por manter uma abertura variando de 240 a 260mm na mesa de consistência, o que resultou em diferentes em valores de relação água/cimento para cada formulação.

A partir dessa metodologia, foram definidas as dosagens executadas neste trabalho, que estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Traços das argamassas em massa (kg)

Traço	Cimento	Agregado Areia	Miúdo RCD	Água
REF	1,00	3,00	-	0,50
25%	1,00	2,25	0,61	0,60
50%	1,00	1,50	1,23	0,67
75%	1,00	0,75	1,84	0,80
100%	1,00	-	3	0,95

Fonte: Autora (2024).

3.3.1 Mistura dos componentes

O procedimento para a preparação das argamassas, seguiu as etapas descritas na norma NBR 16541 (ABNT, 2016.)

Inicialmente, todo o material seco, previamente pesado, é colocado na argamassadeira. Então, inicia-se o processo de mistura em velocidade baixa e coloca-se aproximadamente 75% do total de água presente na composição.

Após trinta segundos, a velocidade alta é acionada e a mistura é agitada por mais sessenta segundos. Após esse período, a argamassadeira é desligada para que a pá e a laterais do recipiente possam ser “raspadas” com a finalidade de incorporar todo o material à mistura.

Em seguida, a água restante é adicionada ao recipiente e a velocidade baixa é acionada por mais sessenta segundos, finalizando o processo de mistura.

O mesmo procedimento foi repetido para as cinco formulações de argamassas.

3.3.2 Moldagem dos corpos de prova

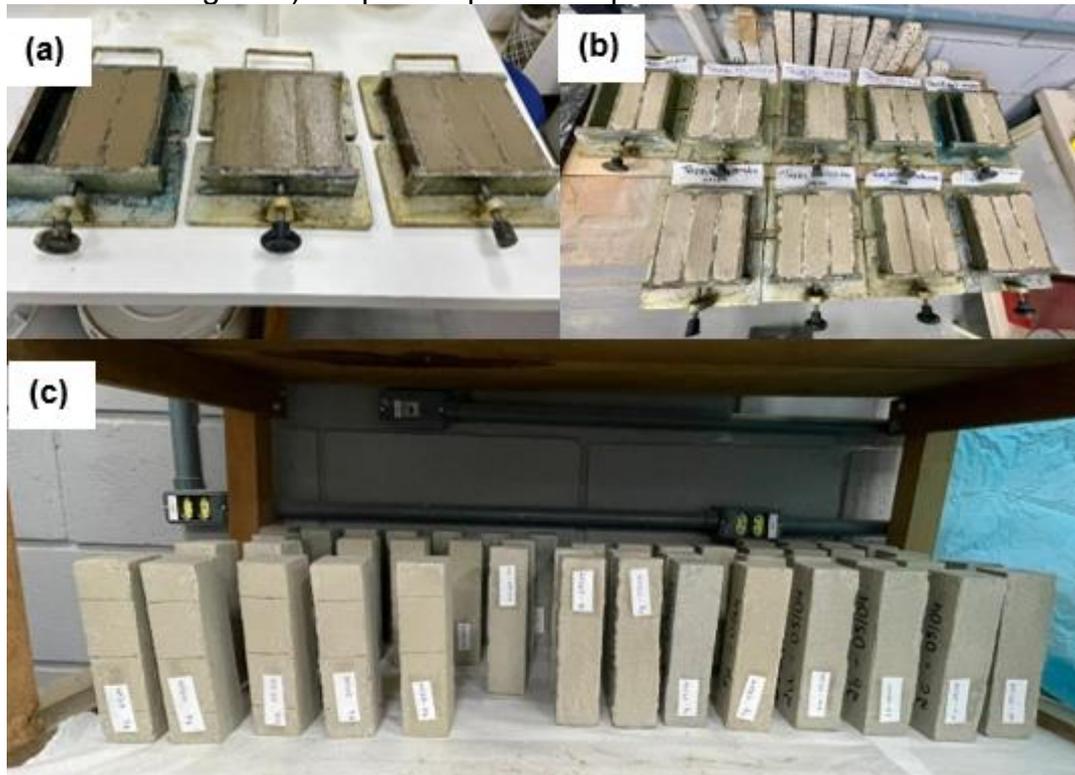
As etapas para a moldagem e cura de corpos de prova prismáticos em argamassa são apresentadas pela Norma NBR 13279 (ABNT, 2005). O procedimento presente na norma, foi seguido na elaboração dos corpos de prova deste trabalho. Para tanto, após o processo de mistura, uma porção de argamassa foi tomada e realizou-se o preenchimento de aproximadamente metade de cada compartimento do molde prismático de forma uniforme. Feito isso, o molde contendo a mistura foi levado até a mesa de adensamento, onde foram aplicadas trinta quedas.

Em seguida, a parte restante dos compartimentos foi preenchida com uma segunda camada e foram aplicadas mais trinta quedas na mesa de adensamento. Por último, o excesso de material presente para fora do molde foi arrasado com o auxílio de uma haste metálica, resultando em uma superfície regularizada.

O mesmo procedimento de moldagem de corpos de prova foi repetido para todas as formulações de argamassa, foram moldados 8 corpos de prova prismáticos para cada mistura, resultando em 40 corpos de provas, 4 deles foram testados com cura de 7 e os demais aos 28 dias.

O procedimento de cura ao ar foi realizado em ambiente laboratorial, de acordo com os requisitos da NBR 13279 (ABNT, 2005). A desmoldagem dos corpos de prova ocorreu após o período de 24h para todos os traços. A figura 7 apresenta os corpos de prova antes e após a desmoldagem.

Figura 7 – a) Corpos de prova recém moldados b) Corpos de prova antes da desmoldagem c) Corpos de prova em processo de cura ao ar



Fonte: Autora (2024).

3.3.3 Ensaio das argamassas no estado fresco

3.3.3.1 Mesa de índice de consistência – Flow Table

O ensaio que mede quantitativamente a consistência das argamassas é chamado de Índice de Consistência, ou simplesmente flow table, a NBR 13276 (ABNT, 2016) apresenta a aparelhagem e os métodos para determinação da consistência das argamassas. O procedimento apresentado na norma foi seguido para a elaboração deste trabalho.

Para manter um índice de consistência aproximadamente constante, estabeleceu-se que as argamassas para todos os traços deveriam apresentar abertura variando de 240 a 260 mm na mesa de consistência. Essa faixa de valores foi escolhida por seguir as recomendações da NBR 13276 (2016) e ser respaldada por trabalhos acadêmicos e códigos de construção, que indicam que consistências dentro desse intervalo asseguram melhor trabalhabilidade, desempenho mecânico e homogeneidade da mistura. Para isso, utilizou-se o ensaio para encontrar a relação

água/cimento que resultaria em um valor de abertura dentro deste intervalo para cada mistura com diferentes teores de RCD.

Após a preparação das argamassas, o molde troncônico foi preenchido em três camadas sucessivas com espessura aproximadamente igual. Em cada uma delas, foram aplicados 15, 10 e 5 golpes com o soquete metálico, de modo a distribuir a argamassa de maneira uniforme dentro do molde.

Após o preenchimento total, o excesso de material foi rasado com o auxílio de uma régua metálica e o molde foi retirado verticalmente. Em seguida, a manivela foi acionada 30 vezes, de modo que a mesa suba e caia 30 vezes com um intervalo de aproximadamente 1 segundo para cada queda. Por fim, o espalhamento da argamassa foi medido em três direções diferentes com o auxílio de um paquímetro. O Índice de Consistência da argamassa é dado pela média entre os 3 valores medidos. A Figura 8 mostra um exemplo de medição do flow table para uma das misturas executadas.

Figura 8 - Medição do diâmetro de abertura de uma das argamassas usadas no presente estudo



Fonte: Autora (2024).

3.3.4 Ensaio das argamassas no estado endurecido

A investigação das resistências mecânicas das argamassas estudadas no presente trabalho esteve focada nas resistências à compressão e à tração na flexão dos corpos de prova. Os ensaios foram realizados com 7 e 28 dias de cura em ambiente laboratorial cedido pela empresa Perville Construtora. Para os ensaios

utilizou-se uma prensa hidráulica calibrada com capacidade máxima de 100 toneladas força.

3.3.4.1 *Resistência à tração na flexão das argamassas*

A NBR 13279 (ANBT, 2005b) apresenta o método de ensaio para determinação da resistência à tração na flexão. Após 7 e 28 dias de cura, os 4 corpos de prova prismáticos foram posicionados em um dispositivo de apoio metálico conforme apresentado na Figura 9, de modo que a face rasada do corpo de prova não ficasse em contato direto com o dispositivo de apoio e de aplicação de carga.

Nesse ensaio foram utilizados corpos de prova prismáticos de 160 mm de comprimento, biapoiados em suportes espaçados 100mm entre si. Além disso, um terceiro rolete foi posicionado no centro na face superior do corpo de prova, e então, a carga foi aplicada até o momento em que o corpo de prova se rompesse.

Na prensa, é apresentado o resultado da carga aplicada em toneladas-força e, a partir de correlações e da Equação 07 apresentada na norma, foi possível determinar a resistência à tração apresentada para cada corpo de prova de cada traço de argamassa. A Figura 9 mostra um dos corpos de prova sendo ensaiado à tração na flexão.

Figura 9 – Corpo de prova em argamassa ensaiado à tração na flexão



Fonte: Autora (2024).

A resistência à tração na flexão dos corpos de prova foi determinada a partir da equação 07.

$$R_f = \frac{1,5 \times F \times L}{40^3} \quad (07)$$

Onde:

R_f = Resistência à tração na flexão (Mpa)

F = Carga aplicada (N)

L = Distância entre os suportes (mm)

3.3.4.2 *Resistência à compressão das argamassas*

O ensaio de resistência à compressão foi realizado conforme o método apresentado na norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Após a realização do ensaio de resistência à tração na flexão, cada corpo de prova foi dividido ao meio, resultando em 8 metades de aproximadamente 80 mm, destas, seis metades foram utilizadas para o ensaio de resistência a compressão.

Para a execução do ensaio, cada metade foi então posicionada na prensa, na face superior e inferior foram utilizados pratos metálicos com a dimensão de 40x40x80 mm de modo que a face do corpo de prova não ficasse em contato direto com o dispositivo de apoio e de aplicação de carga. Em seguida, a carga foi aplicada até o rompimento do corpo de prova, a carga de ruptura foi então anotada e a resistência à compressão pôde ser determinada através da equação 08. A Figura 10, apresenta um dos corpos de prova no ensaio de resistência à compressão

Figura 10 - Ensaio de resistência à compressão de uma das argamassas estudadas



Fonte: Autora (2024).

$$R_c = \frac{F}{1600} \quad (08)$$

Onde:

R_c = Resistência à compressão (Mpa)

F = Carga aplicada (N)

3.3.4.3 *Ensaio de determinação de perda de massa ao longo do tempo*

A análise da determinação da perda de massa nos corpos de prova seguiu o que recomenda a NBR 13280 (2005) que estabelece os critérios para a determinação da densidade de massa no estado endurecido. Neste trabalho, a pesquisa limitou-se apenas à análise da perda de massa, sem considerar a variação de volume dos corpos de prova.

Para a realização do ensaio, quatro corpos de prova de cada traço foram pesados em balança com precisão de 0,1 g nas idades de 1, 7, 14, 21 e 28 dias.

3.3.5 Propriedades físicas das argamassas: absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente

A determinação das propriedades físicas das argamassas no estado endurecido foi realizada por meio do Ensaio de Arquimedes que é apresentado na norma NBR 9778 (ABNT, 2009).

Utilizaram-se duas metades das oito provenientes do ensaio de resistência à tração na flexão e essas metades foram divididas novamente em pedaços menores com o auxílio de uma talhadeira, resultando em seis pedaços representativos para cada traço.

Para determinação da absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente, inicialmente, os pedaços dos corpos de prova foram levados à estufa a uma temperatura de 105 graus por um período de 24 horas. Após esse período, os CPs foram retirados da estufa e resfriados à temperatura ambiente. Então, a massa seca de cada amostra foi aferida.

Em seguida as amostras foram imersas em água por um período de 24 horas e sua massa imersa foi então registrada. Em seguida, as amostras foram secas superficialmente e sua massa saturada de superfície seca também foi aferida.

É importante destacar que, conforme a norma, recomenda-se que as amostras passem por um período de secagem e imersão de 72 horas. No entanto, optou-se por um período de 24 horas para não perder a referência dos 7 e 28 dias de cura, uma vez que esse período também foi utilizado para a análise das resistências mecânicas. Por esse motivo, os corpos de prova foram divididos em pedaços menores, a fim de acelerar o processo de secagem e absorção de água das amostras. A Figura 11, abaixo, apresenta parte das amostras divididas para realização do ensaio.

Figura 11 - Corpos de prova em argamassa para o ensaio de Arquimedes



Fonte: Autora (2024).

A partir da aferição das massas, foi possível determinar os índices físicos da argamassa no estado endurecido.

As propriedades de absorção de água, porosidade aberta e densidade aparente são obtidas respectivamente, pelas seguintes formulações apresentadas nas Equações 09, 10 e 11.

$$A = \frac{m_{Sat} - m_S}{m_S} \times 100 \quad (09)$$

Onde:

A = Absorção de água (%)

mSat = Massa saturada de superfície seca (g)

mS = Massa seca (g)

$$Pa = \frac{m_{Sat} - m_S}{m_{Sat} - m_i} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

Pa = Porosidade aberta (%)

mSat = Massa saturada de superfície seca (g)

mS = Massa seca (g)

mI = Massa imersa (g)

$$\rho_s = \frac{m_s}{m_{\text{Sat}} - m_i} \quad (11)$$

Onde:

ρ_s = Massa específica da amostra seca (g/cm³);

m_{Sat} = Massa saturada de superfície seca (g)

m_s = Massa seca (g)

m_i = Massa imersa (g)

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS (ANOVA)

Para a análise dos resultados obtidos, tanto para as propriedades físicas quanto para a resistência mecânica das argamassas, utilizou-se a análise de variância (ANOVA) através do Software Statistica. Esta ferramenta estatística foi empregada para investigar os erros atribuídos ao método experimental (erro puro) e as fontes de variação do mesmo (neste caso, a substituição da areia por RCD, o tempo e a interação entre eles). Essa metodologia permite comparar as médias de grupos independentes e determinar se existem diferenças estatisticamente significativas entre elas.

O intervalo de confiança adotado foi de 95% com nível de significância ($\alpha = 0,05$). Sendo o p-valor a probabilidade de ocorrer valores iguais ou mais extremo ao obtido as estatísticas de testes (t , z , f), extraída de uma população sob H_0 , valores menores que nível de significância ($p \leq \alpha$) indicam baixa probabilidade de que as diferenças observadas sejam ao acaso, portanto, há fortes evidências que as diferenças são significativas.

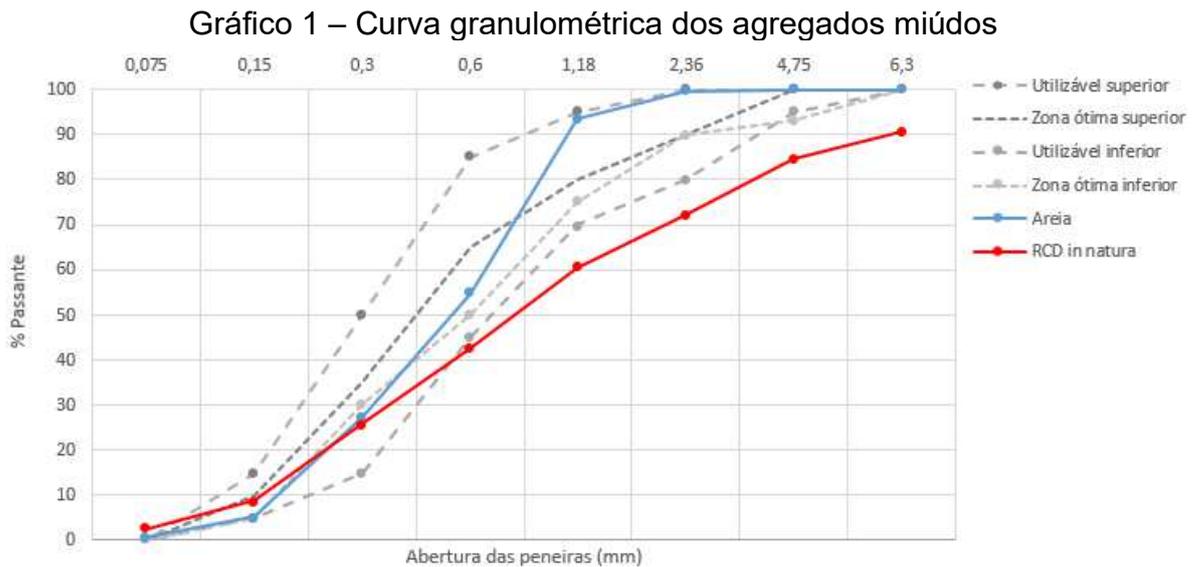
Antes da aplicação da ANOVA, foi realizado um teste de normalidade dos dados cujo intuito era observar se os dados seguem uma distribuição normal, pois é pré-requisito básico para aplicação da ANOVA. Para avaliar as diferenças entre as médias para os diferentes tipos de tratamentos (RCD: 0, 25, 50, 75, 100% e tempo: 7 e 28 dias), utilizou-se o método pareado de Fisher. Neste trabalho, foram considerados 4 réplicas para cada propriedade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, será realizada a apresentação dos resultados obtidos neste trabalho, como, as propriedades físicas dos agregados, as propriedades mecânicas da argamassa para os diferentes traços propostos e os índices físicos dessas argamassas em seu estado endurecido.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS

Para fins de comparação da granulometria do agregado miúdo natural com o RCD construiu-se a curva Granulométrica dos agregados utilizados neste trabalho, os resultados podem ser observados no Gráfico 1.



Fonte: Autora (2024).

Observa-se que o RCD possui uma estrutura mais heterogênea e granular em comparação ao agregado natural. A areia concentra a maior parte do material nas peneiras de 0,3 mm e 0,6 mm, enquanto o agregado reciclado apresenta uma ampla distribuição granulométrica, com partículas retidas na peneira de 6,3 mm e uma alta concentração de materiais finos.

Na elaboração do trabalho, apenas o material retido nas peneiras de 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm e 0,075 mm do RCD foi utilizado, enquanto toda a areia foi empregada. Essa abordagem foi adotada para aproximar a granulometria dos dois

materiais, pois a fração mais grossa do resíduo não é adequada para argamassas. No entanto, o RCD ainda apresenta uma proporção maior de partículas finas, com uma quantidade significativamente maior de material retido na peneira de 0,075 mm em comparação com a areia.

Com base na curva granulométrica, foi possível calcular o módulo de finura e a dimensão máxima característica dos agregados. A areia apresentou módulo de finura de 2,25 mm e dimensão máxima característica de 2,33 mm, enquanto o RCD apresentou um módulo de finura de 2,98 mm e dimensão máxima característica de 9,5 mm.

4.1.1 Massa específica e massa unitária dos agregados

Os resultados de massa específica e massa unitária dos agregados estão apresentados na Tabela 4. Nota-se que o RCD apresenta massa unitária e massa específica menores em comparação ao agregado natural, obtendo valores 26% e 8% inferiores aos da areia, respectivamente.

Tabela 4 – Massa unitária e específica dos agregados

	Massa Unitária	Massa específica agregado saturado de superfície seca (g/cm ³)	Massa específica agregado seco (g/cm ³)
AREIA	1,55	2,50	2,48
RCD	1,14	2,20	2,03

Fonte: Autora (2024).

Esse comportamento pode ser explicado pela maior porosidade do RCD, decorrente da maior presença de partículas finas e da natureza dos materiais de origem, que incluem componentes cerâmicos, como telhas e tijolos.

Além disso, a absorção de água do RCD é significativamente maior do que a do agregado natural. Os resultados obtidos indicam uma absorção de 8,12% para o RCD e 0,81% para a areia média. Essa característica também pode ser atribuída aos componentes cerâmicos presentes no material, que possuem alta capacidade de absorção de água.

4.2 ARGAMASSA – PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados de todos os ensaios realizados nas argamassas, no estado fresco e endurecido.

4.2.1 Ensaio do índice de consistência (Flow table)

Na elaboração do trabalho, optou-se por manter um índice de consistência aproximadamente constante para as argamassas, variando de 240 a 260 mm. Entretanto, devido à alta absorção de água do RCD a relação água/cimento precisou ser alterada para cada traço, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Média flow table para cada traço

Traço	Flow Table (cm)	Relação A/C	Aumento de água (%)
REF	24,47	0,50	-
25%	25,12	0,60	20
50%	24,47	0,67	34
75%	24,67	0,80	60
100%	24,50	0,95	90

Fonte: Autora (2024).

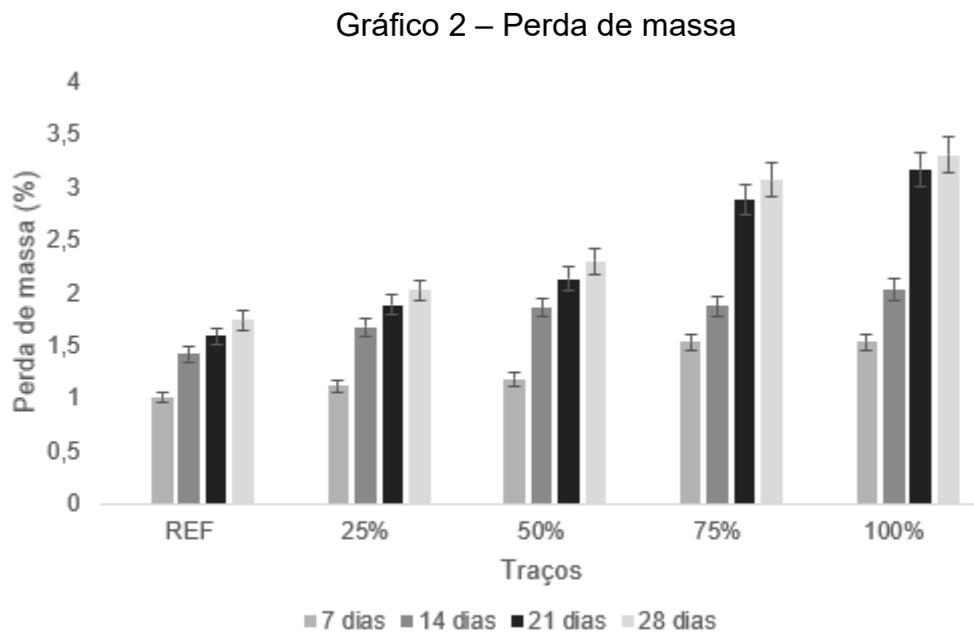
Nota-se que, à medida que ocorre a substituição parcial do agregado miúdo natural por RCD, há um aumento na quantidade de água a ser utilizada na mistura, para obter-se um mesmo índice de consistência. Comparando o traço de referência ao traço com 100% de substituição pode-se verificar que a quantidade de água aumenta em 90%. O RCD possui um grão menor em relação ao agregado miúdo natural; quanto menor o grão, maior é a área superficial, o que resulta em um maior consumo de água livre no sistema, reduzindo o espalhamento.

Esse resultado está de acordo com as pesquisas realizadas por Batista et al. (2022) e Pimentel et al. (2018), que também investigaram substituições parciais do agregado natural por resíduos de construção e demolição (RCD). Em ambos os estudos, a relação água/cimento foi ajustada com o objetivo de manter o índice de consistência aproximadamente constante em 250 mm semelhante ao que foi realizado neste trabalho.

Essa maior quantidade de água necessária pode ser atribuída ao fato de o RCD possuir um teor maior de finos em sua composição, os quais têm alta absorção hídrica, como mencionado anteriormente.

4.2.2 Ensaio da perda de massa ao longo do tempo para as argamassas

O Gráfico 2 apresenta os resultados de perda de massa obtido para os diferentes traços, observa-se que, existe uma grande variação dos traços com 100% de RCD em sua composição em relação ao traço de referência.



Fonte: Autora (2024)

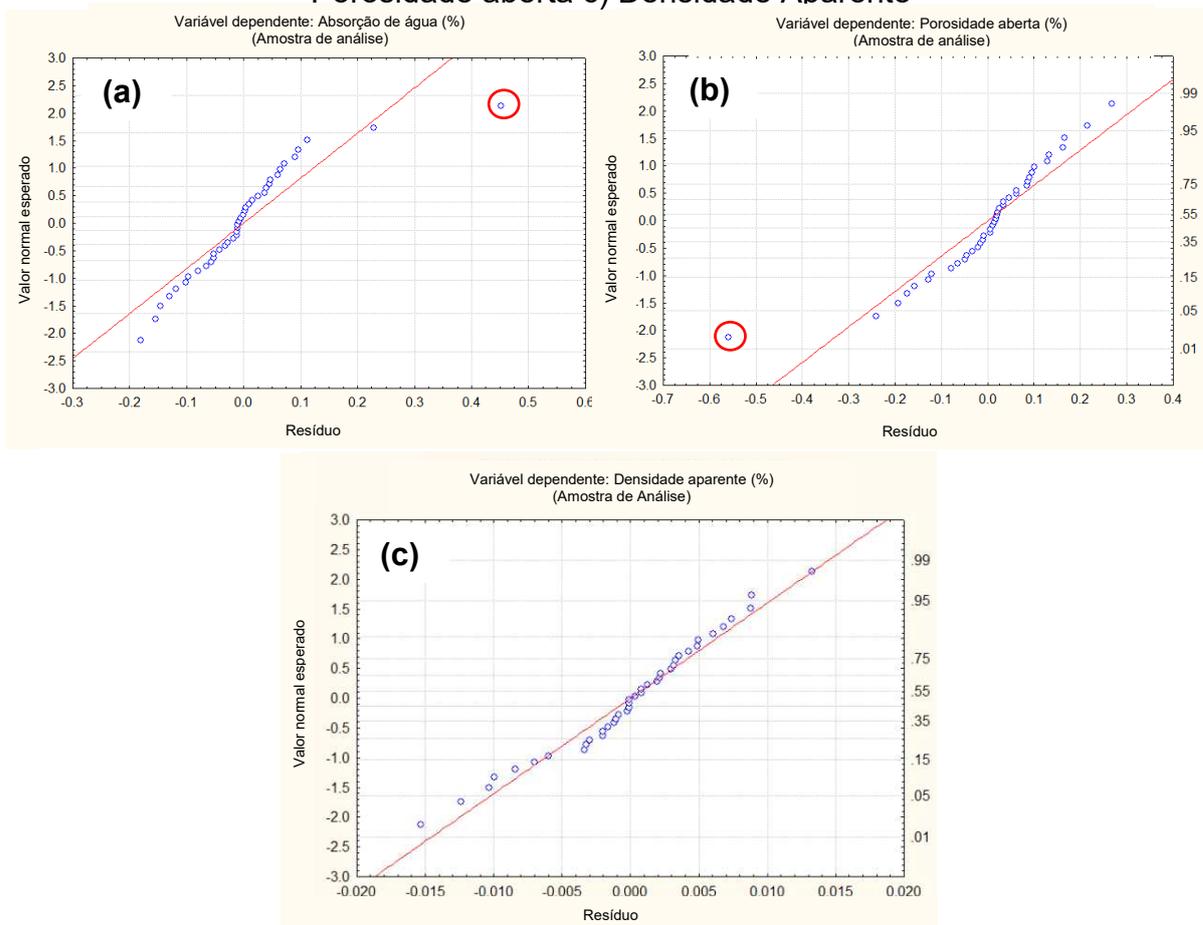
As misturas com maior teor de RCD apresentaram uma perda de massa superior em comparação com as demais. Essa maior perda de massa pode ser atribuída à maior quantidade de água livre no sistema, uma vez que essas misturas contêm mais água em sua composição. Durante o processo de cura e secagem, ocorre a transferência de umidade do interior da argamassa para o ambiente, onde essa água evapora, reduzindo a massa dos corpos de prova. Isso é um forte indicador de que tais misturas apresentarão porosidade elevada, propriedade que será estudada com mais detalhes na sequência.

4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ARGAMASSAS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados encontrados para as propriedades físicas das argamassas, no estado fresco e endurecido, para as duas idades de cura estudadas.

O Gráfico 3 abaixo mostra a tendência à normalidade de todas as propriedades físicas estudadas, atendendo ao critério para a aplicabilidade do método de análise de variância ANOVA.

Gráfico 3 - Tendência à normalidade dos resultados de a) Absorção de água (%)
Porosidade aberta c) Densidade Aparente



Fonte: Autora (2024).

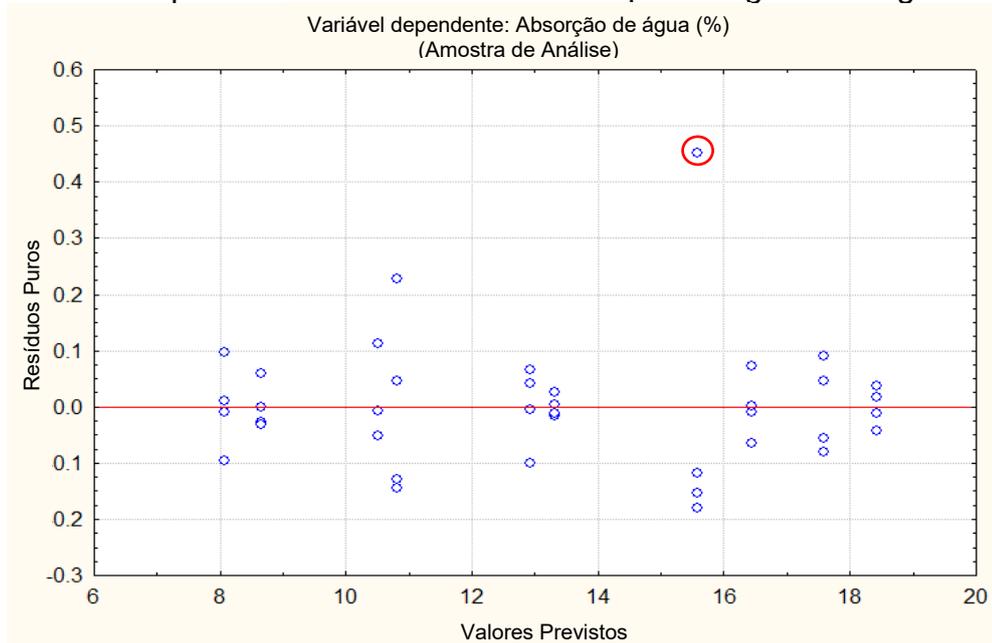
Nota-se que a densidade aparente foi a propriedade física que apresentou uma distribuição mais próxima da normal, com quase todos os valores alinhados em uma

mesma reta. Em contraste, os resultados de porosidade aberta e absorção de água mostraram uma aproximação menos adequada à distribuição normal.

4.3.1 Absorção de água das argamassas

A dispersão dos resultados de absorção de água pode ser verificada no Gráfico 4.

Gráfico 4 – Dispersão dos resultados de absorção de água das argamassas

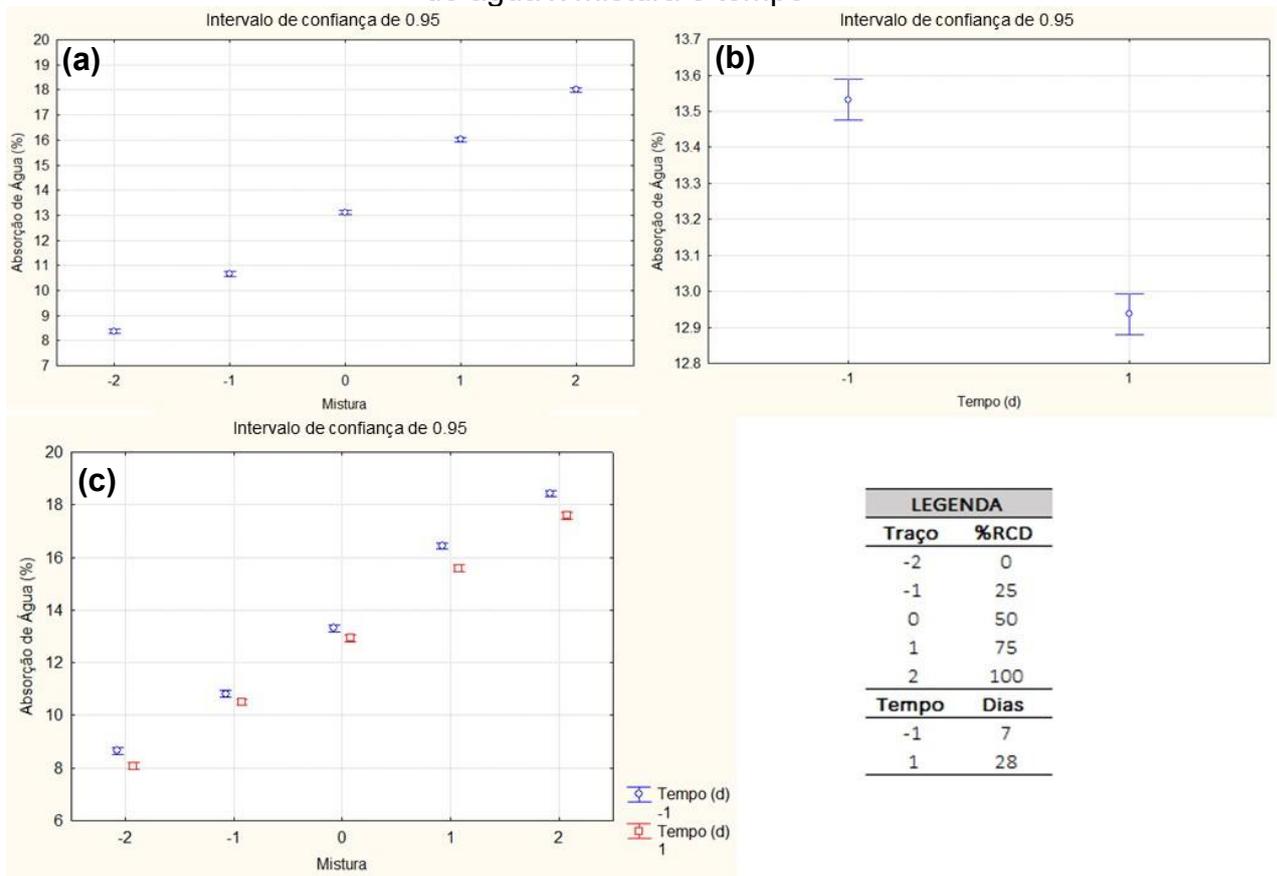


Fonte: Autora (2024).

É possível perceber que os resultados apresentam distribuição aleatória, com alguns valores abaixo e outros acima da média. O ponto destacado em vermelho demonstra um desvio em relação aos demais resultados, indicando um possível erro experimental. No entanto, pode-se observar que, de modo geral, existe um equilíbrio na distribuição dos resultados.

Os resultados de absorção de água nas argamassas, relacionados à variação da mistura e as idades de cura estão apresentados no Gráfico 5 a seguir

Gráfico 5 - a) Absorção de água x mistura b) Absorção de água x tempo c) absorção de água x mistura e tempo



Fonte: Autora (2024).

Verifica-se que os valores obtidos de absorção de água para os traços com RCD são consideravelmente superiores em relação ao traço de referência, com um aumento de pouco mais de 100% para ambas as idades de cura. Observa-se também que aos 28 dias de cura há uma diminuição nessa propriedade, o que se constata em todos os traços analisados.

Esses resultados corroboram com os estudos de Martínez et al. (2016) e Ledesma et al. (2016), que também observaram aumentos consideráveis na capacidade de absorção de água das argamassas com a adição de RCD.

Além da alta absorção e retenção de água do RCD já mencionada anteriormente, essa característica está relacionada à porosidade das argamassas, propriedade que também aumenta com a incorporação de RCD.

A análise de variância da absorção de água, bem como, as médias pareadas, são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - a) ANOVA absorção de água b) Médias pareadas absorção de água

(a)	ss	Graus de liberdade	MS	F	P
Efeito					
Interceção	7005,950	1	7005,950	45814,4	0,000000
Mistura	486,834	4	121,708	7953,2	0,000000
Tempo (d)	3,549	1	3,549	231,9	0,000000
Mistura*Tempo (d)	0,523	4	0,131	8,6	0,000099
Erro	0,459	30	0,015		

(b)	Mistura	Tempo (d)	Absorção de Água (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-2	1	8.07392	****									
1	-2	-1	8.65823		****								
4	-1	1	10.50481			****							
3	-1	-1	10.82164				****						
6	0	1	12.93441					****					
5	0	-1	13.30494						****				
8	1	1	15.58070							****			
7	1	-1	16.44363								****		
10	2	1	17.58872									****	
9	2	-1	18.43278										****

LEGENDA	
Traço	%RCD
-2	0
-1	25
0	50
1	75
2	100
Tempo	Dias
-1	7
1	28

Fonte: Autora (2024).

Na Tabela 6a), observa-se que os valores de p-valor tanto para a variação da mistura quanto para o tempo foram inferiores a 0,05. Isso indica que tanto a composição da mistura quanto o tempo de cura, isoladamente, assim como a interação entre eles, exerceram uma influência significativa nos resultados de absorção de água das argamassas.

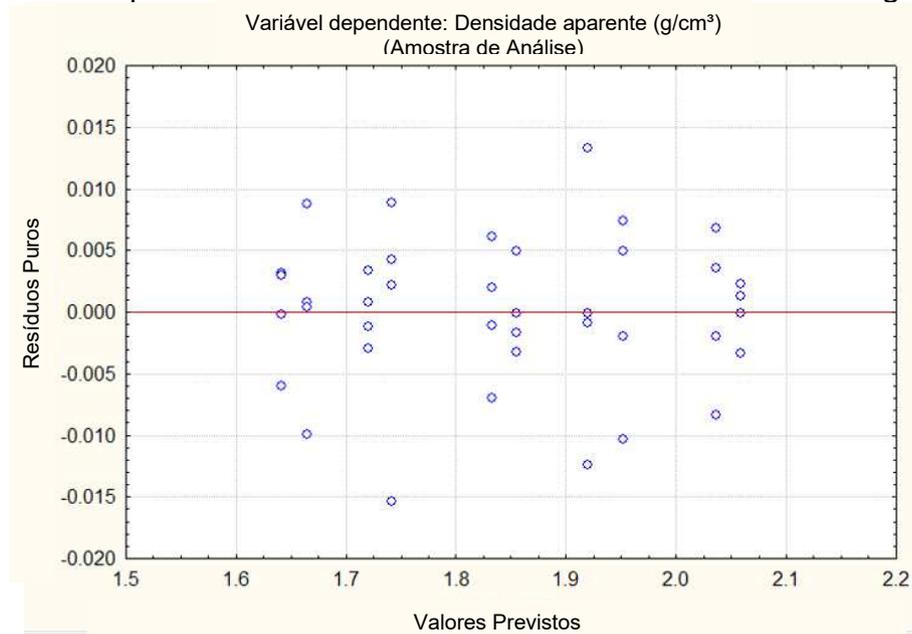
É importante destacar que o efeito da fonte de variação mistura, com uma soma quadrática de 486,83 foi muito superior ao da fonte de variação tempo, que foi de apenas 3,55, sugerindo que a composição da mistura tem um impacto muito mais pronunciado nos resultados.

Além disso, as médias pareadas demonstram que, todos os traços obtiveram resultados estatisticamente diferentes entre si para essa propriedade.

4.3.2 Densidade aparente das argamassas

O Gráfico 6 abaixo, apresenta a dispersão dos resultados obtidos para densidade aparente das argamassas:

Gráfico 6 – Dispersão dos resultados de densidade aparente das argamassas

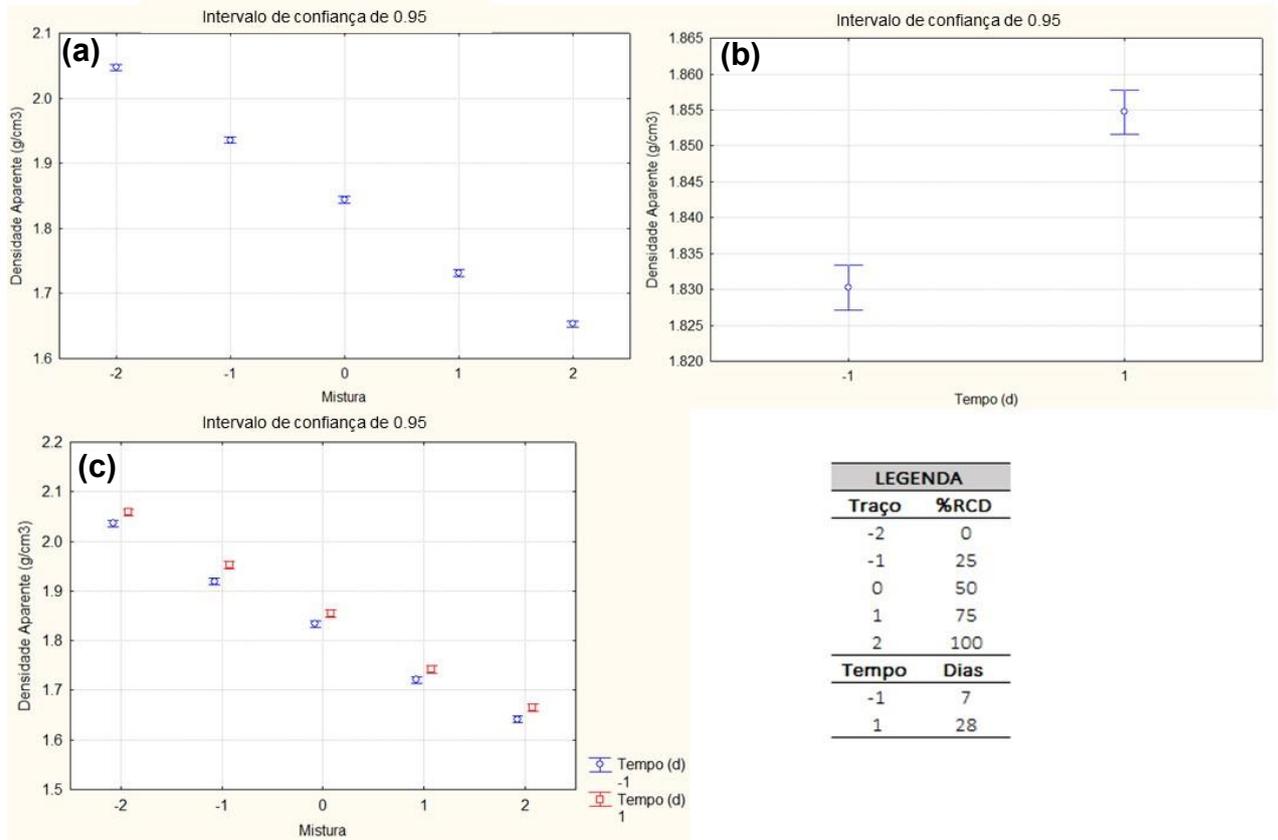


Fonte: Autora (2024).

Os resultados de densidade aparente mostraram uma distribuição equilibrada, com valores tanto abaixo quanto acima da média, refletindo uma variabilidade adequada ao processo de análise estatística.

O comportamento da densidade com a variação do tempo e da mistura, são apresentados no Gráfico 7 abaixo:

Gráfico 7 a) Densidade aparente x mistura b) Densidade aparente x tempo c) Densidade aparente x mistura e tempo



Fonte: Autora (2024).

Os valores de densidade aparente, apresentaram comportamento inverso ao de absorção de água pois diminuíram com o aumento de RCD na mistura. Os traços com 100% de RCD mostraram uma redução de aproximadamente 20% em relação ao traço de referência.

Resultados que se assemelham aos encontrados por Santana e Pereira (2018) em sua pesquisa. Essa queda pode ser atribuída a menor massa específica do agregado reciclado, em comparação ao agregado natural, além do aumento do teor de água na mistura.

A NBR 13281 (2013) classifica as argamassas de acordo com a densidade aparente no estado endurecido. A classificação conforme a norma pode ser consultada na Tabela 7.

Tabela 7 – Classe de densidade das argamassas

Classe	Densidade de massa no estado endurecido (DE) kg/m ³	Método de ensaio
DE0	DE < 1 200	ABNT NBR 13280
DE1	1 200 ≤ DE < 1 400	
DE2	1 400 ≤ DE < 1 600	
DE3	1 600 ≤ DE < 1 800	
DE4	DE ≥ 1 800	

Fonte: NBR 13281 (2013)

A partir da tabela, verifica-se que as argamassas com 100% de RCD na mistura se enquadram na classificação DE3 da norma, apresentando valores adequados de densidade aparente no estado endurecido.

A ANOVA e médias pareadas dos resultados podem ser verificados na tabela abaixo.

Tabela 8 – a) ANOVA densidade aparente b) Médias pareadas densidade aparente

(a)	SS	Graus de liberdade	MS	F	P
Efeito					
Interceção	135,7894	1	135,7894	2926839	0,000000
Mistura	0,7913	4	0,1978	4264	0,000000
Tempo (d)	0,0060	1	0,0060	129	0,000000
Mistura*Tempo (d)	0,0002	4	0,0000	1	0,386667
Erro	0,0014	30	0,0000		

(b)	Mistura	Tempo (d)	Densidade Aparente (g/cm ³)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	2	-1	1.641636	****									
10	2	1	1.665013	****									
7	1	-1	1.720898		****								
8	1	1	1.741935			****							
5	0	-1	1.833283				****						
6	0	1	1.855060					****					
3	-1	-1	1.919279						****				
4	-1	1	1.952508							****			
1	-2	-1	2.036188								****		
2	-2	1	2.059006									****	

LEGENDA	
Traço	%RCD
-2	0
-1	25
0	50
1	75
2	100
Tempo	Dias
-1	7
1	28

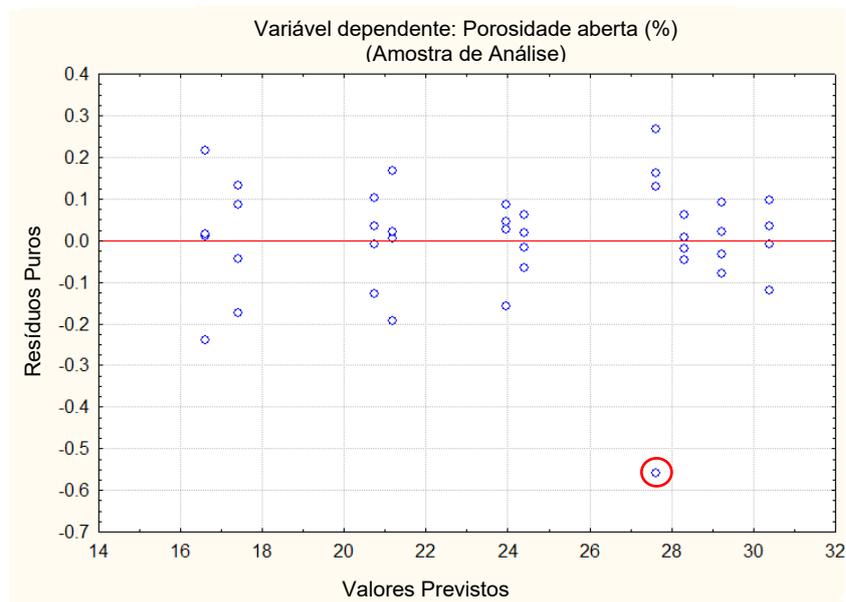
Fonte: Autora (2024).

A ANOVA indicou que a interação da variação da mistura e do tempo não exerceu influência significativa sobre os resultados. No entanto, cada um desses fatores, isoladamente, influencia diretamente os resultados de densidade aparente das argamassas. Semelhante ao ocorrido para os resultados de absorção de água, as médias pareadas indicam que todos os traços apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si para essa propriedade.

4.3.3 Porosidade aberta das argamassas

A dispersão dos valores de porosidade aberta das argamassas, são apresentados no Gráfico 8. Nota-se que, assim como nas demais propriedades estudadas, os resultados de porosidade aberta mostraram uma distribuição razoável, com uma aleatoriedade de resultados tanto acima quanto abaixo da média.

Gráfico 8 – Dispersão dos resultados de Porosidade Aberta

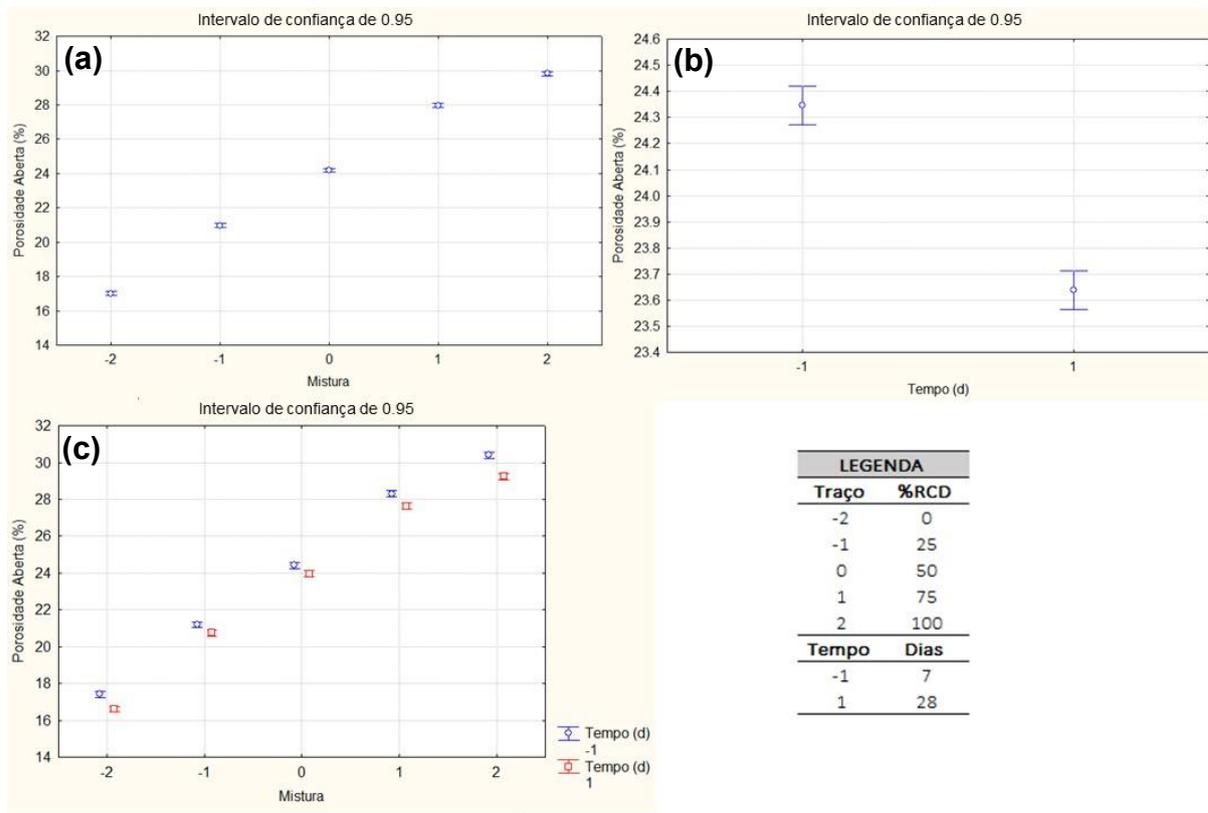


Fonte: Autora (2024).

O ponto destacado em vermelho se afasta dos demais, indicando uma possível ocorrência de erro experimental. No entanto, os demais resultados mantêm um equilíbrio geral.

O comportamento dessa propriedade com a incorporação de RCD a mistura, bem como, com a variação das idades de cura é apresentada no Gráfico 9.

Gráfico 9 - a) Porosidade aberta x mistura b) Porosidade aberta x tempo c) Porosidade aberta x mistura e tempo



Fonte: Autora (2024).

O aumento progressivo do teor de RCD foi responsável por aumentar significativamente a porosidade das argamassas. O traço com 100% de RCD obteve um aumento de quase 100% em relação ao traço REF.

Vários são os fatores que podem estar relacionados a este resultado, a natureza porosa e textura heterogênea do RCD além das dimensões variáveis e irregulares que contribuem para o surgimento de vazios entre as partículas, além da alta absorção hídrica e aumento da quantidade de água na mistura.

Em resumo, a maior porosidade em argamassas com RCD é uma consequência da natureza porosa e heterogênea dos próprios resíduos, que introduzem mais espaços vazios na mistura de argamassa, aumentando assim a absorção de água e a porosidade do material final.

A análise de variância e médias pareadas dos resultados é apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 – a) Análise de variância porosidade aberta b) Médias pareadas porosidade aberta

(a)					
Efeito	SS	Graus de liberdade	MS	F	P
Interceção	23025,02	1	23025,02	892778,2	0,000000
Mistura	861,63	4	215,41	8352,3	0,000000
Tempo (d)	5,03	1	5,03	195,1	0,000000
Mistura*Tempo (d)	0,71	4	0,18	6,9	0,000461
Erro	0,77	30	0,03		

(b)												
Mistura	Tempo (d)	Porosidade Aberta (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	-2	1	16.60723	****								
1	-2	-1	17.41522		****							
4	-1	1	20.74710			****						
3	-1	-1	21.19445				****					
6	0	1	23.96310					****				
5	0	-1	24.41127						****			
8	1	1	27.63249							****		
7	1	-1	28.30976								****	
10	2	1	29.23782									****
9	2	-1	30.40352									****

LEGENDA	
Traço	%RCD
-2	0
-1	25
0	50
1	75
2	100
Tempo	Dias
-1	7
1	28

Fonte: Autora (2024).

A análise de variância mostrou que a composição da mistura, as diferentes idades de cura e a interação entre esses dois fatores tiveram um impacto significativo nos resultados, todos com um p-valor inferior a 0,05. Além disso, a ANOVA também revelou que o efeito da composição da mistura com soma quadrática de 861,63 foi muito superior ao efeito do tempo, que apresentou uma soma de quadrados de apenas 5,03.

As comparações de médias pareadas demonstraram diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, semelhante às propriedades físicas de absorção de água e densidade aparente.

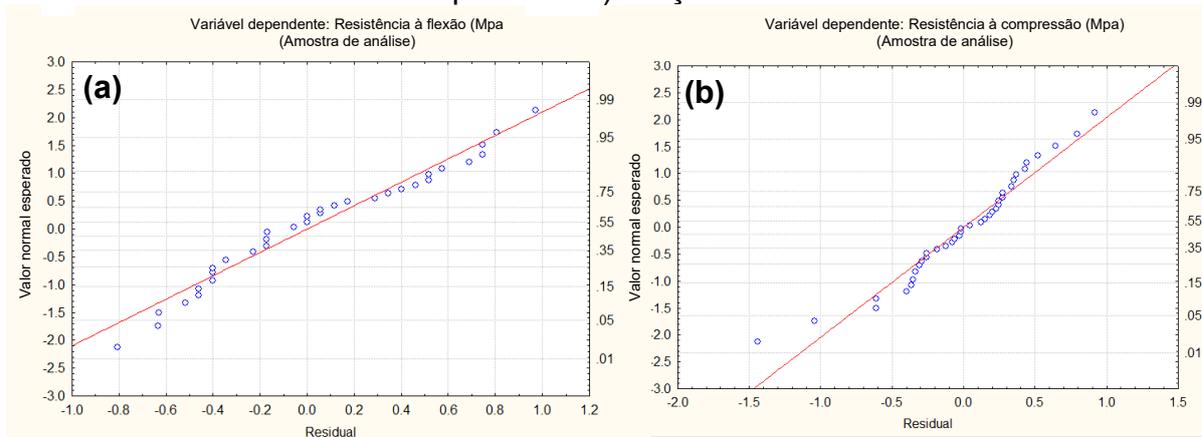
4.4 RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS ARGAMASSAS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados encontrados para as resistências mecânicas das argamassas, para as duas idades de cura estudadas.

Para a investigação dos resultados, utilizou-se o mesmo método de análise de variância aplicado para análise das propriedades físicas do material.

O Gráfico 10 apresenta a tendência normalidade das resistências à compressão e à tração na flexão, atendendo ao critério para aplicabilidade do método.

Gráfico 10 - Gráfico de tendência à normalidade dos resultados de a) Resistência à compressão b) Tração na flexão



Fonte: Autora (2024).

Ambas as propriedades de resistência mecânica mostraram uma distribuição normal satisfatória, com a maioria dos valores distribuídos de forma linear.

Para análise da influência da variação da mistura e do tempo nos resultados obtidos, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) os resultados obtidos para a resistência mecânica do material são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 10 - Análise de variância a) Resistência à compressão b) Tração na flexão

(a)	SS	Graus de liberdade	MS	F	P
Efeito					
Intercepção	9158,350	1	9158,350	32698,05	0,000000
Mistura	394,641	4	96,660	352,25	0,000000
Tempo (d)	134,568	1	134,568	480,45	0,000000
Mistura*Tempo (d)	43,903	4	10,976	39,19	0,000000
Erro	8,403	30	0,280		

(b)	SS	Graus de liberdade	MS	F	P
Efeito					
Intercepção	1363,386	1	1363,386	5088,073	0,000000
Mistura	79,699	4	19,925	74,358	0,000000
Tempo (d)	4,448	1	4,448	16,599	0,000000
Mistura*Tempo (d)	0,655	4	0,164	0,611	0,657690
Erro	8,039	30	0,268		

Fonte: Autora (2024).

Nota-se que, em relação a resistência à compressão tanto a variação da composição quanto do tempo, exerce influência nos resultados, tanto individualmente

quanto em sua interação. Em contrapartida, no caso da resistência à tração na flexão, a interação entre esses fatores resultou em um valor de $p \geq 0,05$, indicando que essa interação não influencia diretamente nos resultados dessa propriedade. No entanto, os fatores isoladamente demonstram ter influência significativa.

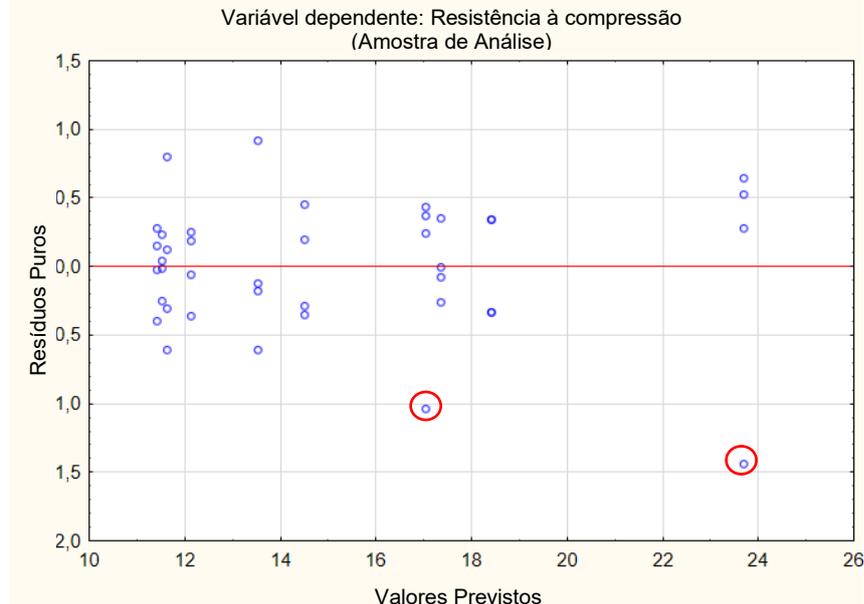
Em ambos os casos a soma quadrática referente a mistura é superior ao valor da soma quadrática do tempo. Isso sugere que a composição da mistura tem uma influência maior nos resultados de resistência mecânica do que a variação no tempo de cura.

Os resultados obtidos para cada uma dessas propriedades, serão discutidos isoladamente nos subtópicos a seguir.

4.4.1 Resistência à Compressão das argamassas

O Gráfico 11 abaixo, apresenta a dispersão dos resultados de resistência à compressão.

Gráfico 11 - Dispersão dos resultados de resistência à compressão

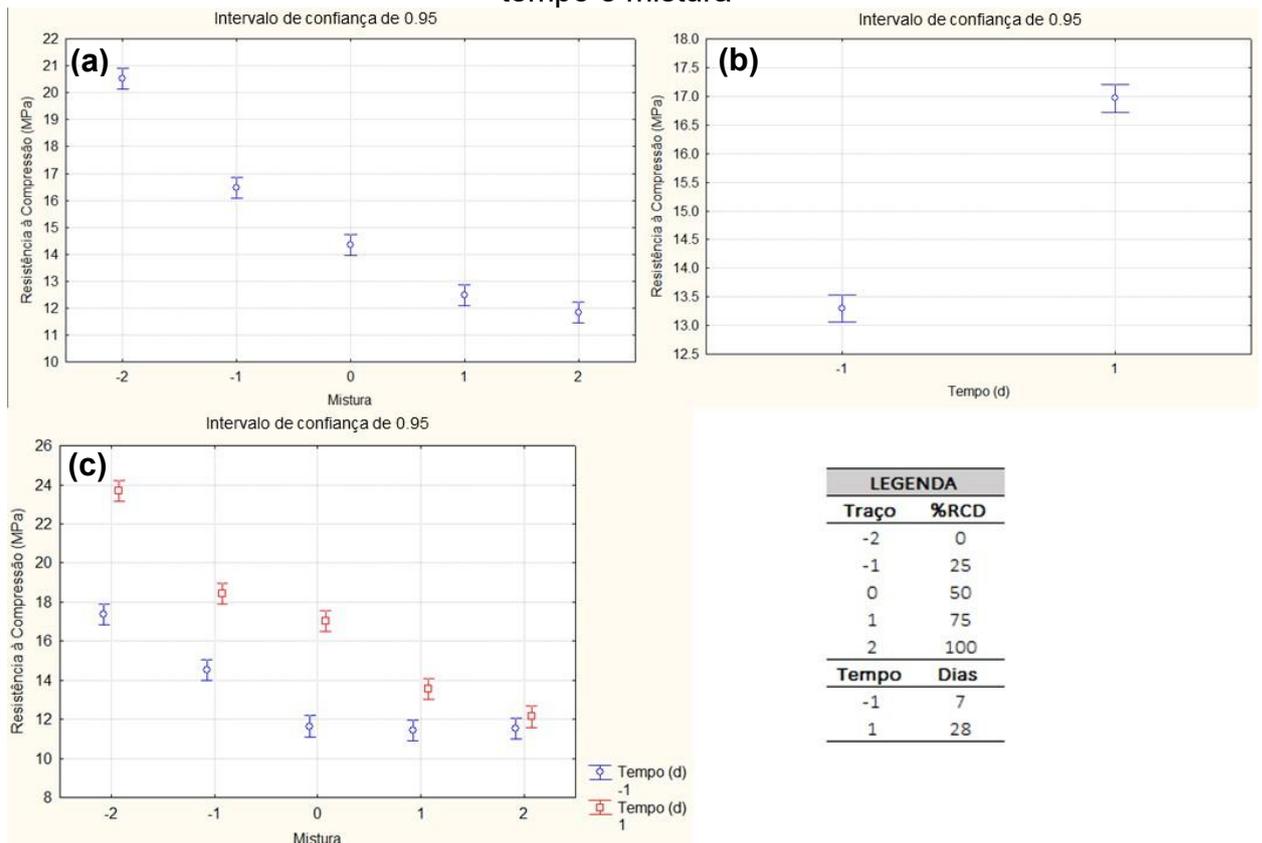


Fonte: Autora (2024).

Os resultados de resistência à compressão seguem a mesma tendência de aleatoriedade observada nas propriedades físicas, com poucos pontos discrepantes.

O comportamento da resistência a compressão com o incremento de RCD, e com a variação do tempo para as idades - 1 (7 dias) e 1 (28 dias) é apresentado no Gráfico 12 a seguir.

Gráfico 12 – a) Variação da resistência à compressão x mistura b) Variação da resistência à compressão x tempo c) Variação da resistência à compressão versus tempo e mistura



Fonte: Autora (2024).

A partir do gráfico 12 (a) é possível perceber que existe uma redução na resistência a compressão a medida em que o teor de RCD é aumentado na mistura.

Os traços compostos por 100% de RCD apresentaram uma redução de aproximadamente 30% em relação a argamassa de referência para 7 dias de cura, e cerca de 50% para os 28 dias de cura. No gráfico 12 (c), nota-se que a argamassa com 100% de RCD apresentou um aumento de resistência relativamente baixo variando de 7 para 28 dias de cura, enquanto as misturas com teores menores de RCD demonstraram um ganho de resistência mais significativo ao longo do tempo de cura.

É razoável atribuir a queda na resistência mecânica ao aumento na porosidade da argamassa com a incorporação de RCD e ao aumento da quantidade de água na mistura. Ambos os fatores exercem impacto direto na resistência mecânica das argamassas.

O resultado de médias pareadas para estas propriedades, é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Médias pareadas resistência à compressão

	Mistura	Tempo (d)	Resistência à Compressão (MPa) Mean	1	2	3	4	5	6
7	1	-1	11.43088	****					
9	2	-1	11.53814	****					
5	0	-1	11.64540	****					
10	2	1	12.13601	****					
8	1	1	13.54544		****				
3	-1	-1	14.51078				****		
6	0	1	17.03905		****				
1	-2	-1	17.36084		****				
4	-1	1	18.41811					****	
2	-2	1	23.68919						****

LEGENDA	
Traço	%RCD
-2	0
-1	25
0	50
1	75
2	100
Tempo	Dias
-1	7
1	28

Fonte: Autora (2024).

Com base nas médias pareadas dos resultados, observou-se que alguns traços obtiveram resultados estatisticamente equivalentes. Destacam-se os traços 0, 1 e 2 (com 50%, 75% e 100% de RCD, respectivamente) aos 7 dias de cura, assim como o traço 2 (com 100% de RCD) aos 28 dias de cura. Nesses casos, a análise estatística indica a ausência de diferenças significativas entre os resultados. Adicionalmente, o traço -2 (REF) aos 7 dias de cura e o traço 0 (com 50% de RCD) aos 28 dias de cura também apresentaram resultados estatisticamente similares.

Embora outros fatores possam influenciar, essa igualdade nos resultados sugere que é possível alcançar a mesma resistência à compressão escolhendo um traço com maior percentual de resíduos em comparação a outro com menor teor de substituição.

A NBR 13281: 2005 classifica as argamassas de acordo com a classe de resistência apresentada na Tabela 12 abaixo.

Tabela 12 – Classificação de argamassas de acordo com a resistência à compressão

Classe	Resistência à compressão MPa	Método de ensaio
P1	≤ 2,0	ABNT NBR 13279
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

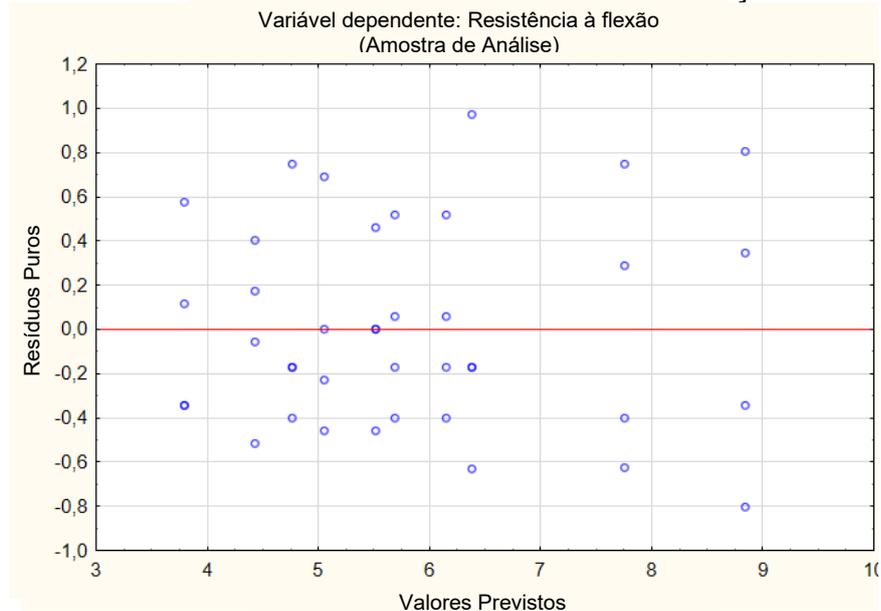
Fonte: NBR 13281 (2005).

Dessa classificação é possível inferir que apesar da redução na resistência tanto a argamassa de referência, como os demais traços com RCD se encaixam na classe P6, mostrando uma resistência à compressão superior a 8 MPa, um valor considerado satisfatório.

4.4.2 Resistência a Tração na Flexão

O Gráfico 13 abaixo apresenta a dispersão dos resultados de resistência à tração na flexão.

Gráfico 13 - Dispersão resultados de resistência à tração na flexão

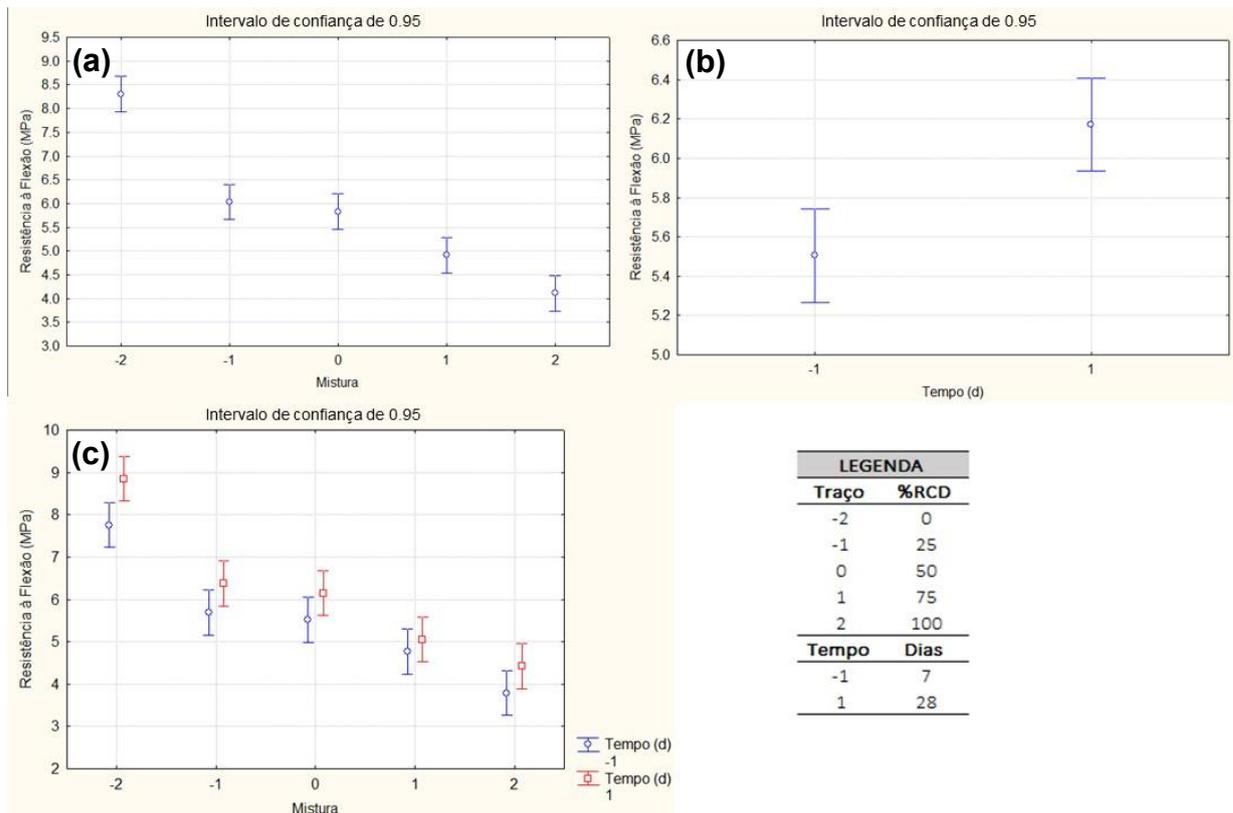


Fonte: Autora (2024).

Os resultados de resistência à tração na flexão mostraram uma dispersão satisfatória com boa distribuição dos valores abaixo e acima da média.

Os ensaios de resistência a tração na flexão relacionados ao teor de RCD e aos tempos de cura são apresentados no Gráfico 14 abaixo.

Gráfico 14 - a) Resistência à tração na flexão x mistura b) Resistência à tração na flexão x tempo c) Resistência à tração na flexão x tempo e mistura



Fonte: Autora (2024).

Semelhante ao ocorrido com a resistência à compressão, houve uma redução gradativa na resistência à tração na flexão com o aumento dos teores de substituição para as duas idades de cura.

Os resultados estão de acordo com os obtidos por Pimentel et al. (2018) e Girardi (2016) em suas pesquisas; quanto maior o teor de agregado reciclado na formulação, menores são os valores médios de resistência à tração na flexão. A queda nos valores obtidos para esta propriedade está relacionada aos mesmos fatores indicados para a queda na resistência à compressão, visto que o aumento da porosidade e da relação água/cimento afetam a resistência mecânica do material como um todo.

Os resultados de médias pareadas para esta propriedade é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Médias pareadas tração na flexão

	Mistura	Tempo (d)	Resistência à Flexão (MPa) Mean	1	2	3	4	5	6	7	8
9	2	-1	3.792415						****		
10	2	1	4.424485	****					****		
7	1	-1	4.769250	****	****						
8	1	1	5.056554	****	****	****					
5	0	-1	5.516241		****	****	****				
3	-1	-1	5.688623			****	****	****			
6	0	1	6.148310				****	****			
4	-1	1	6.380000					****			
1	-2	-1	7.757213							****	
2	-2	1	8.848969								****

LEGENDA	
Traço	%RCD
-2	0
-1	25
0	50
1	75
2	100
Tempo	Dias
-1	7
1	28

Fonte: Autora (2024).

Os resultados de médias pareadas apontam que para a propriedade de resistência à tração na flexão, os resultados foram mais homogêneos, com diferenças menos marcantes entre si.

O traço -1 (25% RCD) aos 7 dias de cura apresentou resultados equivalentes ao traço 0 (50% RCD) na mesma idade de cura. Além disso, o traço 1 (75% RCD) aos 28 dias de cura mostrou resultados similares. Esses resultados sugerem que é possível obter valores semelhantes de resistência à tração na flexão utilizando maiores teores de substituição.

A classificação das argamassas de acordo com a resistência a tração na flexão é apresentada na NBR 13281:2005 e pode ser verificada na Tabela 14 a seguir.

Tabela 14 – Classificação das argamassas de acordo com a resistência à tração na flexão

Classe	Resistência à tração na flexão MPa	Método de ensaio
R1	≤ 1,5	ABNT NBR 13279
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	> 3,5	

Fonte: NBR 13281 (2005)

Apesar da redução desta propriedade com o incremento de RCD à mistura, de acordo com a classificação da NBR 13281:2005, todos os traços de argamassa se enquadram na classe R6, apresentando uma média dos resultados de resistência à tração na flexão superior a 3,5 MPa. Isso indica que, mesmo com o aumento de resíduos na mistura, os traços ainda atendem aos requisitos mínimos estabelecidos para esta classe de resistência.

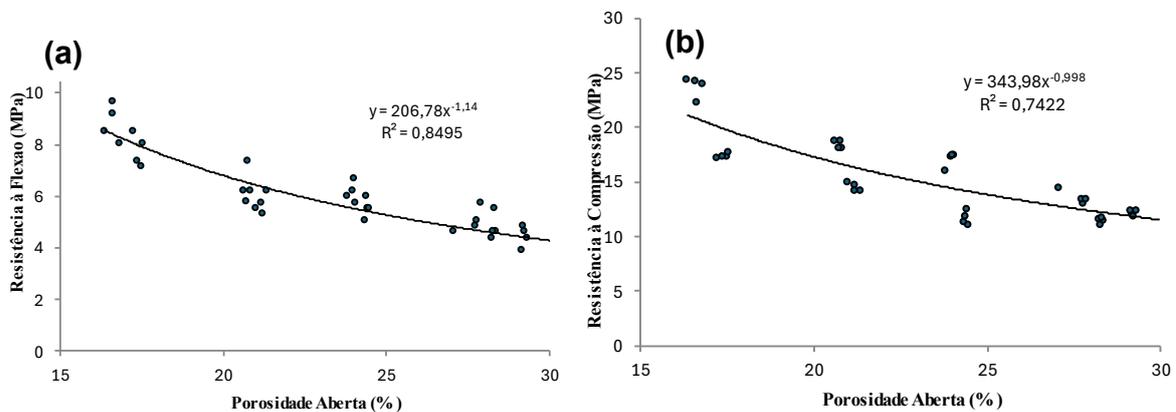
4.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA VERSUS PROPRIEDADES FÍSICAS

Neste capítulo, será apresentada a correlação entre as propriedades físicas e a resistência mecânica das argamassas.

4.5.1 Porosidade aberta x Resistência mecânica

A tendência dos resultados de resistência mecânica com o crescimento da porosidade aberta nas argamassas é apresentada no gráfico a seguir.

Gráfico 15 - Resistência à flexão x porosidade aberta b) Resistência à compressão x porosidade aberta



Fonte: Autora (2024).

Conforme descrito anteriormente, os valores de resistência mecânica das argamassas são inversamente proporcionais a porosidade aberta do material, portanto, a medida em que este aumenta, a resistência mecânica tende a diminuir.

A tendência de evolução da resistência mecânica em argamassas com o aumento da porosidade apresenta comportamento aproximado de uma função

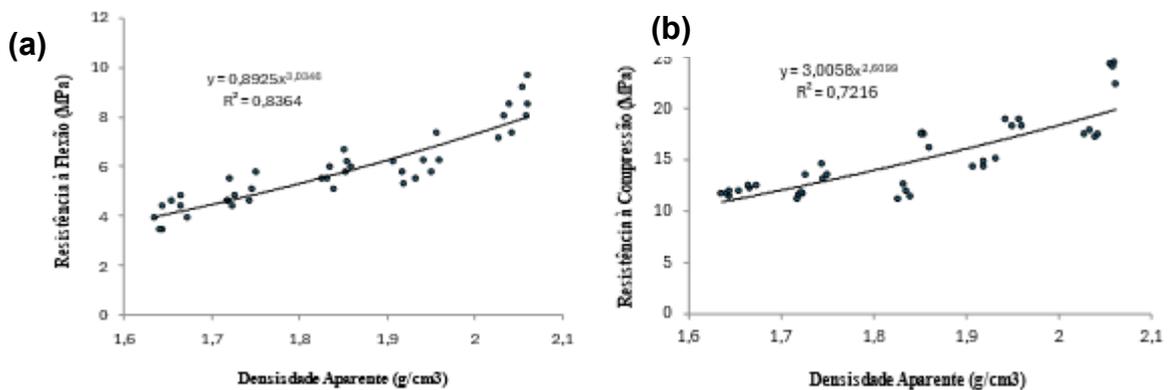
potência. O valor do grau de ajustamento da curva (R^2) obtido para a resistência a compressão e resistência a tração na flexão, 0,74 e 0,84 respectivamente, podem ser considerados uma boa aproximação.

A porosidade aberta significa que há mais vazios dentro da matriz cimentícia, o que aumenta a área superficial dentro do material e reduz a área de contato efetiva entre os grãos de cimento e agregados, enfraquecendo assim a estrutura geral e diminuindo sua capacidade de resistir aos esforços. Além disso, o aumento da porosidade resulta em maior permeabilidade do material, o que também contribui negativamente para a resistência mecânica das argamassas.

4.5.2 Densidade Aparente x Resistência mecânica

A tendência dos resultados de resistência mecânica em relação ao aumento da densidade aparente nas argamassas está representada no Gráfico 16 abaixo.

Gráfico 16 - Resistência à flexão x densidade aparente b) Resistência à compressão x densidade aparente



Fonte: Autora (2024).

A tendência da resistência mecânica versus densidade aparente, apresenta comportamento inverso a porosidade, ou seja, a medida em que a densidade aumenta, a resistência mecânica também tende a aumentar, ou seja, quanto mais densa for a argamassa, mais resistente ela tende a ser. Os valores de grau de ajustamento da curva (R^2) ficaram próximos aos obtidos para a porosidade, sendo eles, 0,83 e 0,72 para a resistência a tração na flexão e resistência à compressão, respectivamente.

Argamassas com maior densidade aparente geralmente indicam que os materiais constituintes foram melhor compactados durante o processo de mistura e aplicação. Isso resulta em uma distribuição mais uniforme e uma melhor interligação entre os grãos de cimento e os agregados, melhorando assim a resistência mecânica. Além disso, as argamassas que resultaram em maior densidade também são as que possuem menor relação água/cimento, o que contribui para aumentar a resistência mecânica das argamassas.

5 CONCLUSÃO

O estudo teve como objetivo caracterizar os agregados miúdos, especialmente o RCD usado nas argamassas, e avaliar o desempenho dessas argamassas no estado fresco e endurecido, através da análise das propriedades físicas e mecânicas.

O RCD mostrou uma granulometria mais heterogênea que a areia média, com material retido nas peneiras de 6,3 mm e $<0,075$ mm. Além disso, apresentou massa unitária e específica inferiores e maior absorção de água em comparação com o agregado natural.

Na argamassa, a substituição da areia por RCD reduziu a trabalhabilidade no estado fresco, esse fato implicou na necessidade de aumentos sucessivos da relação água/cimento para alcançar o mesmo índice de consistência da mistura de referência. O traço com 100% de RCD apresentou um aumento de 90% em relação à REF, naturalmente implicou na diminuição das propriedades mecânicas referidas abaixo.

No estado endurecido, a resistência mecânica à compressão e à tração na flexão das misturas com RCD (7 e 28 dias de cura) variaram significativamente em relação ao traço (REF). De fato, os resultados revelaram uma diminuição gradual com o aumento de RCD na mistura.

As propriedades físicas são afetadas pelo aumento de RCD na mistura. A absorção de água do traço com 100% RCD apresentou um aumento acima de 100% comparativamente à REF. Já a densidade aparente mostrou um comportamento inverso com uma diminuição de cerca de 20% para as mesmas misturas. A porosidade aberta também sofre influência do incremento de RCD à mistura apresentando um aumento de cerca de 75% para esta propriedade.

Todas as argamassas com diferentes teores de RCD em sua composição atingiram valores de resistência superiores aos padrões exigidos pela norma, indicando sua viabilidade para aplicação em obras convencionais. Portanto, considerando o objetivo de promover a sustentabilidade, seria viável escolher uma argamassa com substituição total da areia por RCD, considerando exclusivamente as propriedades e tempos de cura aqui estudados.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar ciclos de molhagem e secagem para verificar a durabilidade do material e viabilidade do mesmo para aplicação em revestimento externo;
- Realizar estudo do desenvolvimento de argamassa porosa à base de RCD com a finalidade de isolamento térmico e acústico;
- Utilizar um traço com maior quantidade de RCD em volume e avaliar os efeitos desse aumento na mistura;

REFERÊNCIAS

ARNOLD, D. C. M. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA FORMA DOS GRÃOS NAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS**. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) — UNIVERSIDADE DO VALE DOS RIOS, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. Disponível em: <https://abcp.org.br/> Acesso em: 01 de junho de 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – especificação. [S.l.], 2009. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**. Revestimento de paredes e tetos com argamassa inorgânica: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16541**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**. Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**. NBR 17054 Agregados: Determinação da composição granulométrica, Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BARRETO, S. L. **ARGAMASSA COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO MIÚDO CONVENCIONAL POR RESÍDUO DE EPS**. Trabalho de conclusão (Curso de Engenharia Civil, do CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE, 2020.

BATISTA, Bruna Caroline Campos et al. Influência da adição de RCD misto na resistência à compressão e na porosidade de argamassa. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 59, n. 3, p. 934-946, set. 2022. ISSN 2447-9187. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/5005>>. Acesso em: 03 jun. 2024.

CANEDO, BRANDÃO e PEIXOTO FILHO. **REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTO**. Trabalho de conclusão (Curso de Engenharia Civil) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 2011.

CARASEK, H. Argamassas. *In*: ISAIA, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 893-945.

COLOMBO, F. S. **Análise das propriedades físico-mecânicas de argamassas de revestimento com a incorporação de fibras de polipropileno e nylon**. *Matéria*, Rio de Janeiro, v. 25, n. 4, 15 p., 2020.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002. Brasília. Diário Oficial da União, de 30 de agosto de 2002, seção I, p. 17.241.

DAVISON, J.I. Masonry mortar. Ottawa, National Research Council of Canada, 1974. (Canadian Building Digest-163)

EUROPEAN INDUSTRY MORTAR ORGANIZATION – EMO. Disponível em: <https://www.euromortar.com/home>. Acesso em: 1 jul. 2024.

GEROLLI, Murilo; FLORIAN, Fabiana; DE MARCO, Gerson. **REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE** - ISSN 2763-8928, [S. l.], v. 1, n. 5, p. e1545, 2021.

Disponível em: <https://acertte.org/acertte/article/view/45>. Acesso em: 25 jun. 2024

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIRARDI, A. C. **AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO TOTAL DE AREIA NATURAL POR RCD EM REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA**. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) — UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, 2016.

HOLSBACH, T. S. **AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL POR AREIA ARTIFICIAL EM ARGAMASSA DE CIMENTO CAL E AREIA PARA ASSENTAMENTO**. Trabalho de conclusão (Curso de Engenharia Civil, do Departamento de Tecnologia da UNIUI) — UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 2004.

ISHIKAWA, Paulo Hidemitsu. **Propriedades de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural**. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, 2003.

JIMÉNEZ, J. R. et al. **Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing**. *Construction and Building Materials*, v. 40, p. 679-690, Mar. 2013.

JOCHEM, L. F. **ESTUDO DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM AGREGADOS RECICLADOS DE RCD: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E PROPRIEDADES DA MICROESTRUTURA**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Engenharia Civil (PPGEC). Universidade de Santa Catarina. 2012.

LAPA, J. S. **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO EM ARGAMASSAS DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO ORIUNDO DO PRÓPRIO CANTEIRO DE OBRA**. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) — Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2011.

LEDESMA, E. F. et al. **A proposal for the maximum use of recycled concrete sand in masonry mortar design**. *Materiales de Construcción*, v. 66, n. 321, p. e075, 2016.

LIMA, WEF et al. **Avaliação de argamassas com substituição do agregado miúdo natural por resíduos cerâmicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS. 2016, Natal. p. 2923-2931. 2016.

LOPES, B. B. **Avaliação da aderência em sistema de revestimento de argamassa sobre superfícies de concreto**. 2013. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MACIEL, L.L., BARROS, M.M.S.B., SABBATINI, F.H., 1998, **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo, SP.

MANSUR, A. A. P.; MANSUR, H. S. **Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico)**. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu - PR, 15 a 19 de novembro 2006.

MARTÍNEZ, P. Saiz et al. **Comparative study of three types of fine recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW), and their use in masonry mortar fabrication**. *Journal of cleaner production*, v. 118, p. 162-169, 2016.

MEDEIROS, Terraplenagem. Disponível em: <https://terramedeiros.com.br/>. Acesso em 17 jun 2024

Oliveira, R. S., & Pereira, F. S. **Avaliação de argamassas com resíduos de construção civil como substitutos de agregados miúdos**. *Revista de Tecnologia e Sustentabilidade*, v. 7(1), p. 23-37, 2018.

PIMENTEL, Lia Lorena et al. **Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil–Avaliação de características físicas e mecânicas**. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 23, p. e-11969, 2018.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo, ABCP, 2.ed. 1998. 44p. (ET-91)

SANTANA, Thiago da Silva; PEREIRA, Cláudio Henrique de Almeida Feitosa. **Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas**. *Ambiente Construído*, v. 20, p. 305-318, 2020.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 1995. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.