

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GLAICO JACO DEBIASI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE
RESÍDUOS CERÂMICOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL SUBSTITUINDO O
AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSA DE CONTRAPISO**

BENTO GONÇALVES

2022

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GLAICO JACO DEBIASI

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE
RESÍDUOS CERÂMICOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL SUBSTITUINDO O
AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSA DE CONTRAPISO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil da
Universidade de Caxias do Sul como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Me. Maurício Schafer

BENTO GONÇALVES

2022

RESUMO

DEBIASI, G. J. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE RESÍDUOS CERÂMICOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL SUBSTITUINDO O AGREGADO MIÚDO NATURAL EM ARGAMASSA DE CONTRAPISO.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia Civil – Universidade de Caxias do Sul, Bento Gonçalves/RS.

A construção civil é uma área muito grande na sociedade atual, e com isso, essa área é responsável por uma grande parte de geração de resíduos de construção e de demolição. Neste cenário, se faz necessário alguma medida para a destinação destes resíduos, e de acordo com vários trabalhos já feitos, a reciclagem e reinserção na própria construção civil é viável. Neste trabalho foi buscado resíduos cerâmicos em uma obra local, após isso foi feita a moagem destes e em seguida caracterizados para o uso em argamassa de contrapiso como agregado miúdo. Já na caracterização foi possível ver a diferença entre as massas dos dois tipos de agregados. Com o uso de teores de substituição de 25%, 50%, 75% e 100% na confecção das argamassas, foi possível ver trabalhabilidades iguais com menores relações de água/cimento. No estado endurecido teve-se menores resistências mecânicas, por conta da massa específica e porosidade do agregado cerâmico. Por fim, no trabalho se encontra argamassas com teores de substituição melhores em algumas propriedades, sendo argamassas mais leves o principal benefício. Assim é possível incorporar o material cerâmico na argamassa de contrapiso substituindo o agregado natural.

Palavras-chave: Argamassas, Contrapiso, cerâmicas, resíduos, agregado reciclado cerâmico.

ABSTRACT

DEBIASI, G. J. **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE USE OF DIFFERENT CONTENT OF CERAMIC WASTE FROM CIVIL CONSTRUCTION REPLACING THE NATURAL SMALL AGGREGATE IN STRAIGHT MORTAR.** 2022. Work Completion of Civil Engineering Course – University of Caxias do Sul, Bento Gonçalves/RS.

Civil construction is a very large area in today's society, and therefore, this area is responsible for a large part of the generation of construction and demolition waste. In this scenario, some measure is necessary for the destination of this waste, and according to several works already done, recycling and reinsertion in the civil construction itself is feasible. In this work, ceramic residues were sought in a local work, after which they were ground and then characterized for use in subfloor mortar as fine aggregate. Already in the characterization it was possible to see the difference between the masses of the two types of aggregates. With the use of replacement contents of 25%, 50%, 75% and 100% in the manufacture of mortars, it was possible to see equal workability with lower water/cement ratios. In the hardened state, there was lower mechanical resistance, due to the specific mass and porosity of the ceramic aggregate. Finally, the work found mortars with better replacement rates in some properties, with lighter mortars being the main benefit. Thus, it is possible to incorporate the ceramic material in the subfloor mortar, replacing the natural aggregate.

Keywords: Mortar, Subfloor, ceramics, waste, ceramic recycled aggregates.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados no estado fresco.....	23
Tabela 2 - Resultados para as argamassas em função de seu teor	24
Tabela 3 - Resultado da resistência a compressão para cada traço.....	25
Tabela 4 - Densidade das argamassas.....	26
Tabela 5 - Resumo da metodologia utilizada	28
Tabela 6 - Nomenclatura das argamassas.....	28
Tabela 7 - Quantitativos de ensaios.....	29
Tabela 8 - Características agregado natural	29
Tabela 9 - Características resíduo cerâmico.....	31
Tabela 10 - Características químicas do cimento	33
Tabela 11 - Características físicas do cimento.....	34
Tabela 12 - Quantitativos de materiais.....	35
Tabela 13 - Água nas argamassas	36
Tabela 14 - Ensaios no estado Fresco.....	36
Tabela 15 - Ensaios no estado endurecido	38
Tabela 16 - ANOVA resistência a tração na flexão	46
Tabela 17 - ANOVA resistências a compressão	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Índice de consistência em função do tempo	22
Figura 2 - Resistência a compressão das argamassas.....	25
Figura 3 - Fluxograma da metodologia.....	27
Figura 4 - Curva do agregado miúdo natural.....	30
Figura 5 - Máquina usada para a obtenção dos agregados reciclados	31
Figura 6 - Curva granulométrica do agregado reciclado	32
Figura 7 - Agregado miúdo cerâmico	33
Figura 8 - Ensaio de densidade de massa	37
Figura 9 - Índice de consistência das argamassas	43
Figura 10 - Relação a/c das argamassas.....	44
Figura 11 - Densidade de massa estado fresco.....	45
Figura 12 - Resistência a tração na flexão	46
Figura 13 - Resistência a compressão	47
Figura 14 - Absorção por imersão	48
Figura 15 - Índice de vazios	49
Figura 16 - Massa específica	50
Figura 17 - Absorção por capilaridade	51
Figura 18 - Coeficientes de capilaridade.....	51
Figura 19 - Densidade das argamassas aparente no estado endurecido	52

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
RCD	Resíduo de construção civil e demolição
RCV	Resíduos de cerâmica vermelha
REF	Argamassa de referência
A25	Argamassa com teor de 25% de substituição
A50	Argamassa com teor de 50% de substituição
A75	Argamassa com teor de 75% de substituição
A100	Argamassa com teor de 100% de substituição
CP	Corpo de prova

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>et al.</i>	E outros
%	Por cento
mm	Milímetros
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
Kg/m ³	Quilogramas por metro cúbico
KG	Quilogramas
MPa	Mega pascal
M	Metros
min	Minutos
a/c	Relação água/cimento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.1.1 Objetivo principal.....	11
1.1.2 Objetivos específicos	11
1.2 DELIMITAÇÕES.....	11
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Argamassa de contrapiso	13
2.1.1 Materiais empregados na argamassa	14
2.1.2 Características físicas e mecânicas das argamassas: fatores que influenciam ...	14
2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	16
2.2.2 Resíduos de cerâmicas.....	18
2.2.2.1 Características dos resíduos cerâmicos	19
2.3 USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM ARGAMASSAS	21
2.3.1 Estado fresco	22
2.3.2 Estado endurecido	24
3. MATERIAIS E METÓDOS	27
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	29
3.1.1 Agregado miúdo natural.....	29
3.1.2 Agregado miúdo reciclado.....	30
3.1.3 Aglomerante.....	33
3.1.4 Água	34
3.2 EXECUÇÃO DA ARGAMASSA DE CONTRAPISO	34
3.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DAS ARGAMASSAS	36
3.2.1 Índice de consistência	36
3.2.2 Densidade da argamassa	37
3.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO DAS ARGAMASSAS	38
3.3.1 Resistência a tração na flexão e compressão	38
3.3.2 Absorção da água por imersão, massa específica e índice de vazios	38
3.3.3 Absorção da água por capilaridade	40
3.3.4 Densidade de massa no estado endurecido.....	40
3.4 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 RESULTADOS NO ESTADO FRESCO.....	42
4.1.1 Índice de consistência	42
4.1.2 Densidade de massa	44

4.2 RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO.....	45
4.2.1 Resistência a compressão e tração na flexão	45
4.2.2 Absorção da água por imersão, massa específica e índice de vazios	48
4.2.3 Absorção da água por capilaridade.....	50
4.2.4 Densidade aparente da argamassa no estado endurecido.....	52
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
5.1 Sugestão para trabalhos futuros.....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS – A Valores coletados em laboratório	64

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma atividade que está diretamente ligada a geração de empregos. No entanto, essa área da construção é prejudicial ao meio ambiente com a alta extração de matérias primas, além de poluir o ar, solos, águas e contribuir para a geração de resíduos (MARQUES NETO, 2003).

O crescimento populacional e a necessidade de infraestrutura levaram a humanidade ao uso não controlado do meio ambiente, com isso, a sociedade se encontra com a necessidade de adaptar a forma de vida. Alterações no clima e a escassez de recursos naturais obriga a sociedade buscar opções mais sustentáveis para a realização de nossas atividades (PINZ, 2019).

Oliveira (2016) diz que a argila é empregada na vida da humanidade desde muito tempo atrás e até hoje ela permanece em utilização, sendo usadas como tijolos, blocos e telhas, com a produção destes materiais há a geração de resíduos. Como uma opção de sustentabilidade, a reciclagem destes resíduos já vem acontecendo para a produção de argamassas e concretos, (PINZ, 2019; BAVARESCO, 2001; CARVALHO, 2016) utilizaram a reciclagem destes materiais cerâmicos para a produção de argamassas.

Jochem (2012) diz que as argamassas com o uso destes resíduos reciclados têm os mesmos problemas que as argamassas totalmente naturais, ainda piores pelo uso do RCD (resíduos de construção civil e demolição), e que deve ser encontrado um traço mais ideal além de não fazer correlações com agregados naturais. Porém, ainda de acordo com o autor, existem vantagens para o uso de resíduos em compósitos cimentícios, como a redução de custo, preservação da matéria-prima natural, consumo de energia e redução de impactos ambientais.

A reciclagem de resíduos de construções e demolições já é uma realidade conforme várias pesquisas já realizadas. Diante disso, é possível fazer a inserção de resíduos como subprodutos em compósitos cimentícios, com controle e cuidado. Este trabalho visa desenvolver um traço de argamassa de contrapiso com a inserção de resíduos cerâmicos provenientes da execução de alvenarias em substituição do agregado miúdo natural.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho estão divididos em objetivo principal e objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo principal

O objetivo principal desta pesquisa é analisar a influência de resíduos cerâmicos da construção civil em substituição ao agregado miúdo natural, usando teores de substituição de 25%, 50%, 75% e 100%.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são os seguintes:

- a) Avaliar e comparar as propriedades das argamassas de contrapiso com diferentes teores de substituição do agregado miúdo natural pelo agregado cerâmico reciclado no estado fresco;
- b) Avaliar e comparar as propriedades das argamassas de contrapiso com diferentes teores de substituição do agregado miúdo natural pelo agregado cerâmico reciclado no estado endurecido;
- c) Identificar qual o teor de substituição do resíduo de construção civil apresenta um melhor desempenho frente as propriedades avaliadas.

1.2 DELIMITAÇÕES

Alguns critérios foram delimitados para conduzir o trabalho:

- Utilização do traço da argamassa em 1:4 em massa;
- Utilização do agregado miúdo natural médio;
- Utilização de resíduos cerâmicos como agregado miúdo;
- Avaliação através de ensaios de laboratório;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa está estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz o tema no âmbito da construção civil. O segundo capítulo é referente a revisão

bibliográfica, apresentando conceitos e definições de fatores que envolvem do tema proposto. O terceiro capítulo tem como objetivo apresentar a metodologia que deverá ser empregada na realização da segunda etapa do trabalho. O quarto capítulo traz os resultados e discussões relacionados a cada quesito, e, por fim, o quinto capítulo traz as considerações finais do presente trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo de revisão da literatura apresentará argamassas, especialmente a de contrapiso, além de suas propriedades físicas e mecânicas. Também é apresentado os resíduos de construção e demolição, trazendo informações mais específicas para os resíduos de cerâmica. E por último, são descritos alguns trabalhos já realizados com resíduos de construção e demolição em argamassas, substituindo parcialmente ou totalmente o agregado miúdo natural.

2.1 Argamassa de contrapiso

A argamassa é uma mistura de aglomerante, agregado miúdo e água. Além destes materiais importantes, as argamassas podem ainda possuir aditivo adicionado a elas, com o propósito de melhorar suas propriedades. Dentre essas possibilidades, existem várias configurações de argamassas, que estas, conforme suas características plásticas e adesivas, destinam-se a vários empregos na construção civil (MENDES; BORJA, 2008). Para Carasek (2010), os principais usos das argamassas na construção civil são: revestimento de paredes e tetos, assentamento de blocos e o contrapiso, o qual é usado para nivelção do piso.

A NBR 13753 (ABNT, 1996) define o contrapiso como uma camada em que são assentados os revestimentos, a norma recomenda que, a argamassa de contrapiso pode ser composta por um traço de 1:6, sendo cimento e agregado miúdo médio, a norma complementa que se pode utilizar um traço de 1:0,25:6, sendo essa parcela de 0,25 a cal hidratada. Ainda de acordo com a norma, a argamassa deve ser aplicada dentro do prazo de 2,5 horas após sua produção.

De acordo com Barros (1991), o contrapiso é importante para algumas funções, como: espessura para passar tubulações se necessário, regularizar os desníveis, receber o revestimento do piso e resistir aos esforços transmitidos, pois as cargas transmitidas para o revestimento, passarão pelo contrapiso e chegarão à laje. Diante disso, há a necessidade de o contrapiso suportar estes tipos de esforços, e um item que pode ser um dos responsáveis pela resistência a compressão do contrapiso é a compactidade, ou seja, a relação entre o número de vazios e o seu volume total. O autor ainda explica que a porosidade no contrapiso se dá pela necessidade da aderência com a camada de revestimento, e o que pode determinar essa propriedade,

seriam as características dos agregados, e a própria relação entre cimento/agregado miúdo, e isso, influencia diretamente na porosidade superficial do contrapiso.

2.1.1 Materiais empregados na argamassa

De acordo com Dubaj (2000), os materiais mais utilizados como aglomerantes nas argamassas no país é o cimento Portland e a cal, por conta suas composições químicas e serem materiais finos. Nas argamassas, os aglomerantes fazem o papel de ligar os grãos de maneira sólida. Além de serem importantes para a realização da argamassa, estes ainda afetam o material, quanto sua durabilidade, aderência e resistência mecânica.

Segundo Mehta e Monteiro (2008) os cimentos hidráulicos são aglomerantes que tem reações químicas quando entram em contato com a água, compostos são formados e preenche os espaços vazios, e eles se endurecem. Os autores referem-se a esse fenômeno como a hidratação do cimento.

De acordo com Carasek (2010), os agregados miúdos podem ficar entre 60% e 80% do consumo de materiais das argamassas, e por consequência esse material pode ter consideráveis influências no estado fresco da argamassa. A NBR 7211 (ABNT, 2022), classifica os agregados miúdos sendo os grãos, com base no teste de granulometria, os que ficam retidos entre as peneiras de 4,75 mm e 0,15 mm. Guimarães *et al.* (2004), explicam que o agregado miúdo pode-se obter de forma natural, se extraída de leitos de rios ou artificialmente, quando é feita a moagem de rochas de granito, gnaisse e o calcário.

2.1.2 Características físicas e mecânicas das argamassas: fatores que influenciam

De acordo com Lara (2013), os materiais de construção aplicados em obra, devem possuir boas condições que atendam de maneira adequada as características, alguns mais importantes envolvendo a argamassa:

- Resistência: Condição técnica do material a suportar os esforços que lhe são submetidos, como uma delas por exemplo, a resistência mecânica.

- Durabilidade: É a garantia de que o material irá aguentar, pelo menos, até o limite mínimo de sua vida útil.
- Trabalhabilidade: A garantia de utilização do material de maneira segura com equipamentos simples.

A NBR 13281 (ABNT, 2005), traz os requisitos que as argamassas de revestimento devem ter para ser classificadas de acordo com cada tipo de argamassa. A norma apresenta as tabelas de classificações das argamassas dividindo-as em classes para cada teste, de resistência à compressão e tração na flexão, densidade da massa no estado fresco e endurecido, retenção de água, coeficiente de capilaridade e resistência potencial de aderência a tração. Esta norma não traz classificações para a consistência, que de uma maneira geral, é um item importante.

No estado fresco das argamassas, Sousa e Bauer (2003) comentam que a trabalhabilidade é uma das mais importantes propriedades nesse estado, pois ela deve ser de fácil manuseio para sua aplicação nos revestimentos da obra. Por sua vez, essa característica é afetada pelas variações dos aglomerantes e granulometria do agregado miúdo utilizado, conforme os testes dos autores. Ainda de acordo com eles, a melhor opção para se avaliar a trabalhabilidade de uma argamassa é através do índice de consistência versus tensão de cisalhamento.

Estabelecer uma distribuição granulométrica sem estudar as formas dos grãos pode-se gerar argamassas inadequadas, visto que os agregados miúdos naturais com a mesma distribuição granulométrica apresentam variações no volume de vazios em função dessas formas dos grãos. Ainda de acordo com Arnold (2011), a forma dos grãos provoca uma grande influência no estado fresco das argamassas. O filler quando adicionado também afeta isso, porém com menor intensidade que as formas dos grãos. Em seu trabalho, a autora especifica que a menor esfericidade e o menor arredondamento dos grãos, se obteve argamassas com menores valores de trabalhabilidade. Além dessas características, a densidade de massa também teve menores valores.

Bicca (2000), diz que conforme a granulometria obtida do agregado, ela interfere na trabalhabilidade e consumo de cimento, além disso, quanto melhor acomodados os grãos, um menor índice de vazios, e com isso uma maior resistência

mecânica. Angelim *et al.* (2003), também comenta sobre o fato desta distribuição granulométrica afetar na trabalhabilidade, consumo de cimento e água, além de, afetar as resistências no estado endurecido, permeabilidade e rugosidade também são afetadas por este quesito.

O empacotamento de partículas nas argamassas é uma estratégia que possibilita produtos com menor consumo de cimento, o que pode gerar redução de custos. Em seus estudos, Maciel *et al.* (2018) explicam que a demanda de água pode ser aumentada na mistura conforme o aumento de área das partículas da mistura, a fim de conseguir um amassamento e uma consistência desejada para trabalho. Como consequências dessas alterações, o consumo de cimento deverá ser aumentado para se manter as propriedades no estado endurecido. Estratégias visando melhorar esse ponto, podem potencializar a ecoeficiência da produção das argamassas.

Algumas propriedades da argamassa no estado endurecido podem ser afetadas pela retenção de água que a argamassa teve no seu estado fresco. Isso acontece pelo motivo da argamassa depender de uma boa retenção de água no seu estado endurecido, pois os aglomerantes precisarão de água para fazerem suas reações químicas de maneira adequada (ARAUJO, 2017).

Santos (2011), explica sobre a absorção de água no estado fresco da argamassa, é importante pois ela representa a capacidade da mistura em reter água de amassamento contra a sucção da base ou evaporação, ou seja, interfere na hidratação do cimento, que acontece de forma gradativa. Já no estado endurecido, Pinz (2019), diz que a absorção por capilaridade é um dos principais itens físicos das argamassas de revestimento, e quando a argamassa possui uma alta absorção por exemplo, pode-se haver o surgimento de manifestações patológicas no revestimento argamassado, interferindo assim, na sua durabilidade.

2.2 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Segundo Angulo (2000), a construção civil possui uma boa representatividade no consumo de recursos materiais em todo o mundo, e conseqüentemente também em impactos ambientais. Esta área polui desde a fabricação dos seus materiais até a disposições de resíduos em aterros.

Para Parreira *et al.* (2012), os resíduos oriundos da construção, reconstrução, ampliações e demolições de edificações são chamados de Resíduos de construção e demolição (RCD). De acordo com Marques Neto (2003), os RCD são gerados por obras de serviços públicos, execução de novas obras urbanas e demolições de obras existentes. A maior causa destes é pelo enorme desperdício de materiais nas execuções dos empreendimentos.

Segundo Viana (2009), os materiais demandados na construção civil são muitos desperdiçados no Brasil, desde a sua extração, transportes e até sua utilização em canteiros de obras. Ainda na fala da autora, existem custos para as remoções e tratamento destes resíduos, além de impactos ambientais. Fagury e Grande (2007) enfatizam em seu trabalho que os resíduos de construção e demolição, quando é descartado e armazenamento inadequadamente, podem produzir impactos ambientais e sociais. Isso pode impactar negativamente a qualidade de vida de muitos, afetando os rios, provocando enchentes, possivelmente disseminando doenças e provocando também poluição visual.

De acordo com Hendges (2021), em 2019 a geração de RCD foi de 44.534.380 toneladas. Segundo Ulsen (2006) 90% desses resíduos de construção é de origem mineral, por isso podem ser reciclados.

As grandes chances da utilização dos resíduos da construção, através da sua reciclagem, mostram que a construção civil pode ser uma atividade menos agressiva ao ambiente. As próximas gerações deverão ter igualdade ao acesso as construções de acordo com suas necessidades, e por isso é necessária essa reciclagem, visto que o setor da construção civil tem grandes expectativas de crescimento em centros urbanos (MELO, 2011).

Para a ABRECON (associação brasileira para reciclagem de RCD), os resíduos de construção civil e demolição devem ser selecionados e separados, logo após um trituramento deve ser feito, para assim se aproveitar destes como agregados em argamassas, os mais encontrados no entulho são divididos entre três grupos:

- Grupo I: Compostos de cimento, concreto, argamassas e peças de concreto.
- Grupo II: Derivados de cerâmica, telhas, tijolos e azulejos.
- Grupo III: Materiais não recicláveis como agregados.

De acordo com a Resolução CONAMA 307, de 5 de julho de 2002, os resíduos da construção civil deverão ser classificados, e para a classe A, se destacam como reutilizáveis ou reciclados como agregados os seguintes:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

A NBR 15116 (ABNT, 2021), também de acordo com a classificação da CONAMA 307, classifica os resíduos de construção civil aqueles que podem ser recicláveis como agregados os seguintes: os cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, etc.), argamassas e concretos. Com isso, a NBR 13529 (ABNT, 1995) caracteriza os parâmetros do entulho reciclado nas argamassas; são os materiais da moagem, com dimensão máxima de 2,4 mm, provenientes de argamassas endurecidas, blocos cerâmicos, blocos de concreto ou tijolos.

Segundo Santana (2018), os agregados reciclados podem possuir diversas propriedades diferentes dos agregados naturais, sendo algumas delas a massa específica, a absorção de água e a porosidade. Rodrigues e Fucale (2014) em sua pesquisa, dizem que a utilização de agregados reciclados em concretos estruturais deva ser mais aprofundada as pesquisas em função da durabilidade do material, além de um bom controle na sua dosagem. Outras propriedades que também devem ser consideradas, como fluência, retração, permeabilidade e durabilidade.

2.2.2 Resíduos de cerâmicas

Segundo Oliveira (2016), a cerâmica vermelha compreende os produtos fabricados com argilas com alto teor de impurezas, destacando-se alguns compostos com baixo ponto de fusão e outros com alto teor de ferro, sendo estes responsáveis pela cor avermelhada dos produtos. Ainda de acordo como autor, esses materiais

conseguem apresentar boas resistências mecânicas e boa durabilidade por um custo baixo. Conforme as diretrizes e definições da ABCERAM (associação brasileira de cerâmica), é graças aos argilominerais presente nas argilas, que estas conseguem desenvolver algumas propriedades, como: plasticidade resistência mecânica a úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade. Com essa vasta gama de possibilidades de aplicações tecnológicas, são muito empregados como cerâmica vermelha para a fabricação de produtos usuais da construção civil.

Em seu trabalho, Posa e Antunes (2016), dizem que a construção civil gera uma grande quantidade de resíduos, a qual muita gente chama-a de entulhos. No município em que os autores fizeram a pesquisa, observaram que os resíduos cerâmicos compõem a maior parte dos RCD descartados da indústria da construção civil local.

De acordo com Oliveira (2016), há muitas indústrias de produtos cerâmicos no Brasil, essas que vem surgindo em função do crescimento da economia afim de suprir as demandas destes materiais na construção civil. Nestas indústrias em que são produzidos blocos, tijolos e telhas cerâmicas, existe os produtos que não são comercializados em função de defeitos de fabricação e transporte, e com isso, gera-se grandes quantidades de resíduos cerâmicos na natureza.

Segundo Bicca (2000), pode-se conseguir concretos estruturais usando os resíduos cerâmicos como agregados graúdos. O material cerâmico sendo usado como agregado graúdo traz outros benefícios também, pois é um rejeito, assim se causa menos problemas ambientais em função da britagem de rochas, além destes resíduos também causar menos danos aos maquinários.

2.2.2.1 Características dos resíduos cerâmicos

Para Carvalho (2016), o material cerâmico pode ajudar com sua finura os agregados que possuem falta disso, com a maior finura da pozolana se obtém maior área específica, assim ajudando a diminuir a exsudação da pasta do concreto. Este material sendo pozolanico, tem possibilidades de ele substituir o cimento Portland de maneira parcial. No entanto, se não tiver a característica do consumo de hidróxido de cálcio, esse material agirá como um filler após sua incrementação.

De acordo com Araújo (2017) o RCV (resíduos de cerâmica vermelha) possui uma relevante atividade pozolânica na substituição parcial do Cimento Portland em argamassas. Ainda na fala do autor, tendo em vistas os resultados obtidos, um teor indicado seria de 10%, em virtude da trabalhabilidade que seria melhorada e se ganharia aumento da resistência mecânica.

Realizando a inserção como agregados reciclados se beneficiam de uma menor massa específica em relação aos agregados naturais. Isso pode ocorrer por causa da porosidade que é alta nestes resíduos reciclados. No seu trabalho Cabral (2007), diz que a cerâmica tem a menor massa específica, dentre os materiais utilizados como agregados, o RCV se mostrou como o material com maior quantidade de vazios.

Quanto à massa unitária dos agregados, os de origem naturais obtiveram o maior valor, enquanto os de cerâmica vermelha apresentaram o menor valor. Com estes parâmetros, pode-se falar que o agregado natural tem o melhor empacotamento de grãos, ao contrário da cerâmica que não possui essa propriedade, provavelmente em função da forma lamelar de seus grãos (CABRAL, 2007).

Pinz (2019), com o objetivo de substituir o agregado natural por RCV em argamassas, os autores perceberam uma diferença em algumas propriedades dos materiais estudados. No seu trabalho, conclui-se que o RCV sendo o mais leve e tendo uma absorção de água (10,26%) bem maior que o agregado miúdo natural (0,66%), com os valores de $0,31 \text{ g/cm}^3$ e $1,62 \text{ g/cm}^3$ para a massa unitária solta de RCV e agregado miúdo natural, respectivamente.

Os tijolos são materiais porosos, assim como o concreto, estes materiais quando secos tem estes poros preenchidos por ar, porém quando sujeitado a umidade existe uma solução aquosa (BERTOLINI, 2010). Segundo Bicca (2000), a porosidade de um material influencia diretamente na resistência, pois agregados com estas características mais acentuadas, se tornam materiais mais leves e fracos, além de possibilitar a infiltração de água, e, diante disso, o agregado cerâmico tem uma grande absorção de água, e isso impacta diretamente também na plasticidade e hidratação do cimento, isto é, uma menor resistência e trabalhabilidade. Angulo e Figueiredo (2011), também falam quem a cerâmica vermelha é o material mais poroso presente nos RCDs, com isso, esses agregados podem apresentar grandes

oscilações, e a cerâmica podendo chegar até em 24% de absorção de água. Diante destas observações, o autor ainda comenta que, quanto menos poroso o RCD for, o agregado conseguirá uma maior resistência mecânica ou de abrasão.

2.3 USO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL EM ARGAMASSAS

Segundo Angulo (2000), a área da construção civil tem que passar por mudanças, como por exemplo, a reciclagem de seus próprios materiais. Estas reciclagens ajudam a amenizar a poluição urbana, gerando novos produtos comercializáveis. Estes que podem ser utilizados em concretos, argamassas e blocos de construção.

Barbosa (2014), diz que é uma boa alternativa para a destinação dos resíduos de construção e demolição, já que as argamassas tiveram bons resultados nos quesitos que ele avaliou em seu trabalho, tendo resultados iguais ou superiores as argamassas com agregados naturais, e com isso, o produto final não é impactado de forma negativa nas questões de trabalhabilidade e durabilidade. Ulsen (2006) com base em seus ensaios de agregados reciclados, comenta que o uso destes em concreto de alto desempenho é totalmente possível.

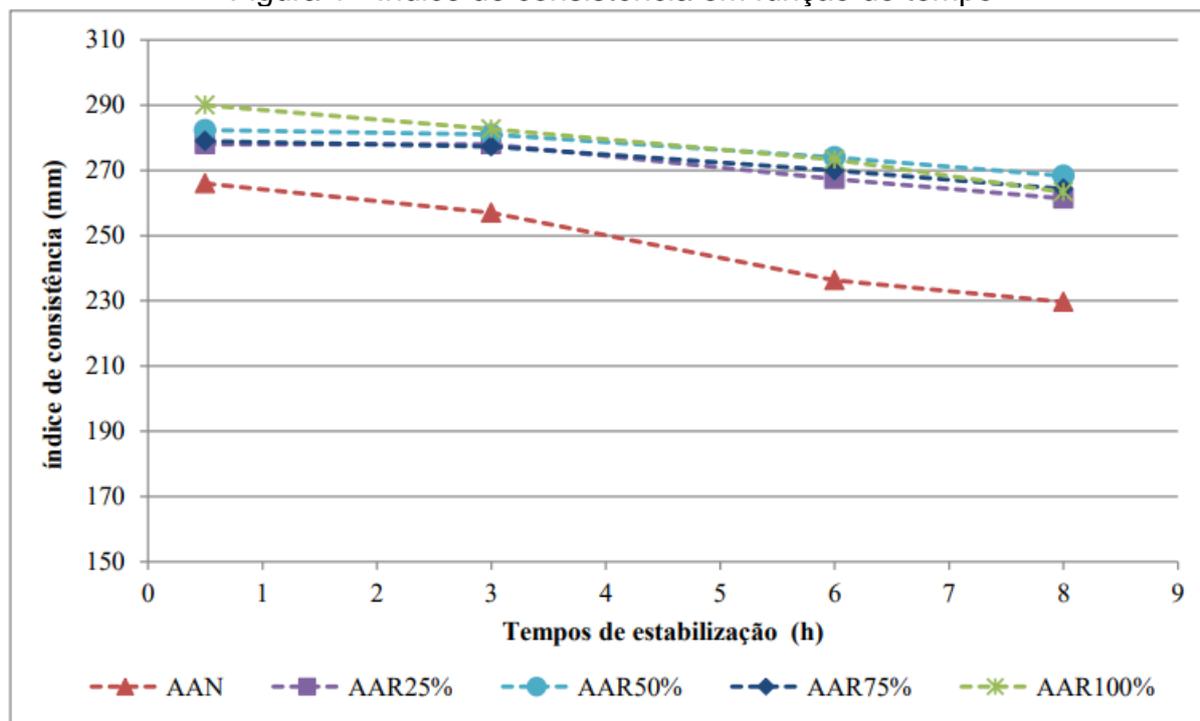
Lapa (2011), em seu trabalho utilizou resíduos de uma obra, e estes resíduos tinham bastante predominância de argamassas, principalmente de contrapisos. Com isso, ele encontrou 8,9% de absorção de água nos resíduos, contra uma de 2,5% do agregado miúdo, um valor bem maior, e que, segundo o autor, isso levaria um aumento do consumo de água na mistura, com o objetivo de conseguir a mesma trabalhabilidade. Portanto, essa adição de água poderá resultar em uma redução de resistências mecânicas.

De acordo com Pinto (1992, apud Bavaresco, 2001), o uso de resíduos reciclados em argamassas, tem boas resistências a compressão, e conforme os traços que ele utilizou, obteve até resultados superiores aos materiais convencionais. Moraes (2011), também concluiu que as argamassas com resíduos em substituição do agregado natural, apresentam um maior desempenho nessa propriedade.

2.3.1 Estado fresco

Conforme Carvalho (2016), quanto maior o aumento no teor de substituição do agregado miúdo natural por resíduo cerâmico, que foi o que ele usou em seus testes, há uma redução na consistência da argamassa. Ainda segundo o autor, o teor de 10% não teve alterações, mas a partir disso houve reduções na trabalhabilidade da mistura, ele especifica ainda que, os resíduos de cerâmica vermelha tiveram maior finura e área específica de partículas, fazendo assim uma maior absorção de água.

Figura 1 - Índice de consistência em função do tempo



Fonte: Santana (2018).

Em seu trabalho Santana (2018), utilizou cinco argamassas, sendo uma com agregado miúdo natural, e as outras com teores de agregado reciclado oriundo de britagem de resíduos de construção civil. O agregado miúdo natural se mostrou mais fino que o reciclado em seus ensaios. Ele usou os teores de agregado reciclado em 25%, 50%, 75% e 100%. A Figura 1 mostra seus resultados do índice de consistência para cada uma das argamassas.

As argamassas recicladas possuem comportamentos semelhantes entre si, diferente da totalmente natural que foi mais consistente depois de 8 horas, mas as argamassas recicladas tiveram maiores valores de espalhamento, Santana (2018), ainda conclui que, isso ocorre por causa de maiores quantidades de água e ar

incorporado nestas argamassas, por isso elas tiveram esse comportamento no estado fresco.

Lapa (2011), obteve a mesma relação de água/cimento para as argamassas mistas e totalmente natural, a última com 100% de RCC, consumiu mais água para se atingir uma faixa de consistência de (300 ± 20) mm, isso ocorreu por causa da absorção de água do agregado reciclado, que quando retirando água da mistura, faz a massa perder a fluidez. Os resíduos utilizados por ele são de uma obra, com grande parte de argamassas. A Tabela 1 mostra os resultados que ele obteve em seu trabalho, em função de trabalhabilidade obtida para cada teor testado, além de densidades no estado fresco e retenção de água.

Tabela 1 - Resultados no estado fresco

Argamassa	Consistência (mm)	Relação a/agl.	Retenção de ar incorp. (%)	Retenção de água (%)	Massa específica (g/cm ³)
1	290	1,87	2,2	89,8	2,09
2	305	1,87	1,8	97,8	2,15
3	286	1,87	2,5	89,7	2,08
4	295	1,87	2,0	89,5	2,05
5	280	2,24	2,8	85,1	2,01

Fonte: Adaptada de Lapa (2011).

Em sua pesquisa, Pedroso (2008), teve como agregado miúdo proveniente do beneficiamento de resíduos da construção e demolição, que foi coletado em uma central de reciclagem. Com isso, ele observou em seus resultados no estado fresco, que a cada aumento de teor de agregado reciclado, o abatimento foi menor, tendo uma diferença de até 100 mm entre as argamassas. O autor comenta que estes resultados se devem pela elevada absorção de água dos agregados reciclados.

A Morales (2015), em seu trabalho utilizou o RCD britado, como agregado miúdo reciclado, com isso ele substituiu as frações granulométricas. Ele ainda dividiu em dois estudos, com e sem pré-molhagem do agregado reciclado. Com estes parâmetros adotados, ele concluiu que a pré-molhagem dos agregados reciclados obtiveram um menor valor de teor de ar incorporado no estado fresco.

Cabral *et al.* (2020), em seu trabalho observou que as argamassas recicladas com resíduos provenientes de argamassas e concretos, no estado fresco, para os traços de contrapiso, apresentaram levemente um maior teor de ar incorporado em relação ao agregado natural, e com isso, uma menor densidade e uma menor

consistência, possivelmente o maior teor de finos e água foi o que afetou essa propriedade. As argamassas com resíduos de concretos, geraram um aumento de 5,31% a mais no consumo de água na mistura em relação a argamassa natural, por causa da porosidade destes resíduos, e estas argamassas recicláveis conseguem se apresentar com uma trabalhabilidade adequada (MONTE JUNIOR, 2017).

2.3.2 Estado endurecido

O Bavaresco (2001) em seu trabalho, conseguiu encontrar nas argamassas com resíduos reciclados valores superiores ao da argamassa convencional, utilizando-se um traço de 1:1:6, ainda, percebe-se que a argamassa com agregado natural não obteve em 28 dias uma resistência maior que nenhuma das argamassas recicladas em apenas 7 dias. De acordo com o autor, estes resíduos possuem atividades pozolânicas, motivo que foi responsável pela maior resistência nestas argamassas. Seu resíduo usado para a obtenção de agregado miúdo foi o de; AGR I = Material cerâmico; AGR II = Material cimentício. A Tabela 2 mostra seus resultados para a resistência a compressão das argamassas, em função de seus teores de resíduos, testados por ele.

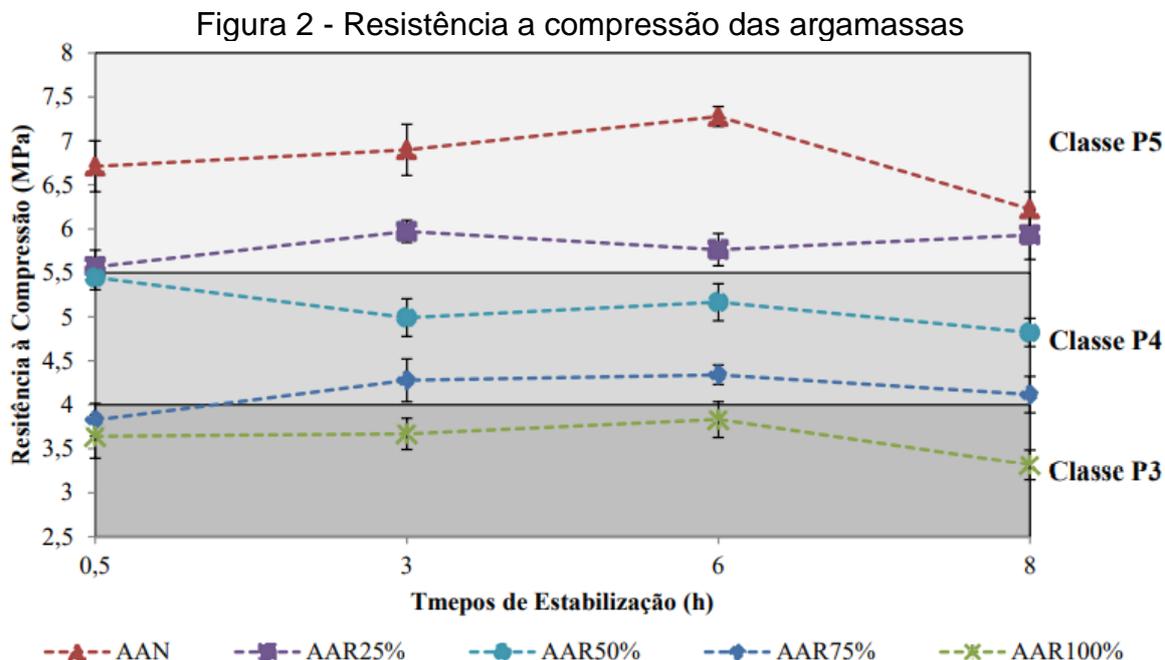
Tabela 2 - Resultados para as argamassas em função de seu teor

Argamassa	Teor de Substituição	Consistência (mm)	a/agl	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)
AGR I	100%	232	1,45	6,17	9,42
	70%	240	1,26	4,84	8,44
	50%	238	1,22	5,31	7,66
AGR II	100%	239	1,35	3,50	4,69
	70%	228	1,22	4,29	6,38
	50%	235	1,17	3,65	4,74
NATURAL	0%	230	1,11	1,34	2,45

Fonte: Adaptada de Bavaresco (2001).

Já Santana (2018), em seus testes de resistência a compressão da argamassa, conseguiu obter resultados maiores na argamassa com agregado miúdo natural, e conforme se aumentava o teor de resíduos reciclados, menor a resistência a compressão. O autor ainda lembra que, isso acontece em função das maiores

relações de água/cimento e ar incorporado. A Figura 2 mostra seus resultados em forma de gráfico para a resistência a compressão para cada argamassa testada.



Pedroso (2008), em seus ensaios de resistência a compressão para as argamassas, ele concluiu que conforme se aumentava os teores de resíduos no lugar do agregado miúdo natural, a resistência era diminuída, gerando diferenças de até 18%. Porém, de acordo com Lapa (2011), os resultados confirmaram o que se encontra na literatura, argamassas com resíduos de construção e demolição, apresentam resistências mecânicas superiores a argamassas completamente naturais. Segundo o autor, a argamassa 2 teve esse resultado elevado, o que não era esperado, ele ainda complementa que isso pode ter acontecido em função do melhor empacotamento dos grãos. A Tabela 3 mostra os seus resultados para cada argamassa em função de resistência a compressão para cada teor que ele usou.

Tabela 3 - Resultado da resistência a compressão para cada traço

Argamassa	Média de Rc (MPa)	a/agl.	Consistência (mm)	Traço cimento: cal: RCC: areia (massa)
1	6,0	1,87	290	1: 0,5: 0: 9,6
2	15,3	1,87	305	1: 0: 5,5: 3,4
3	7,0	1,87	286	1: 0,5: 5,5: 3,4
4	5,3	1,87	295	1: 0: 5,5: 3,4
5	9,8	2,24	280	1: 0: 8,5: 0

Fonte: Adaptada de Lapa (2011).

A partir dos resultados de densidades das argamassas no estado endurecido, testado por Santana (2018), foram comparadas entre elas. A Tabela 4 mostra os resultados que ele obteve.

Tabela 4 - Densidade das argamassas

Argamassa	Densidade média (kg/m³)	Classe – ABNT NBR 13281: 2005
AAN	1620	M5
AAR25	1581	M4
AAR50	1522	M4
AAR75	1483	M4
AAR100	1391	M3

Fonte: Adaptada de Santana (2018).

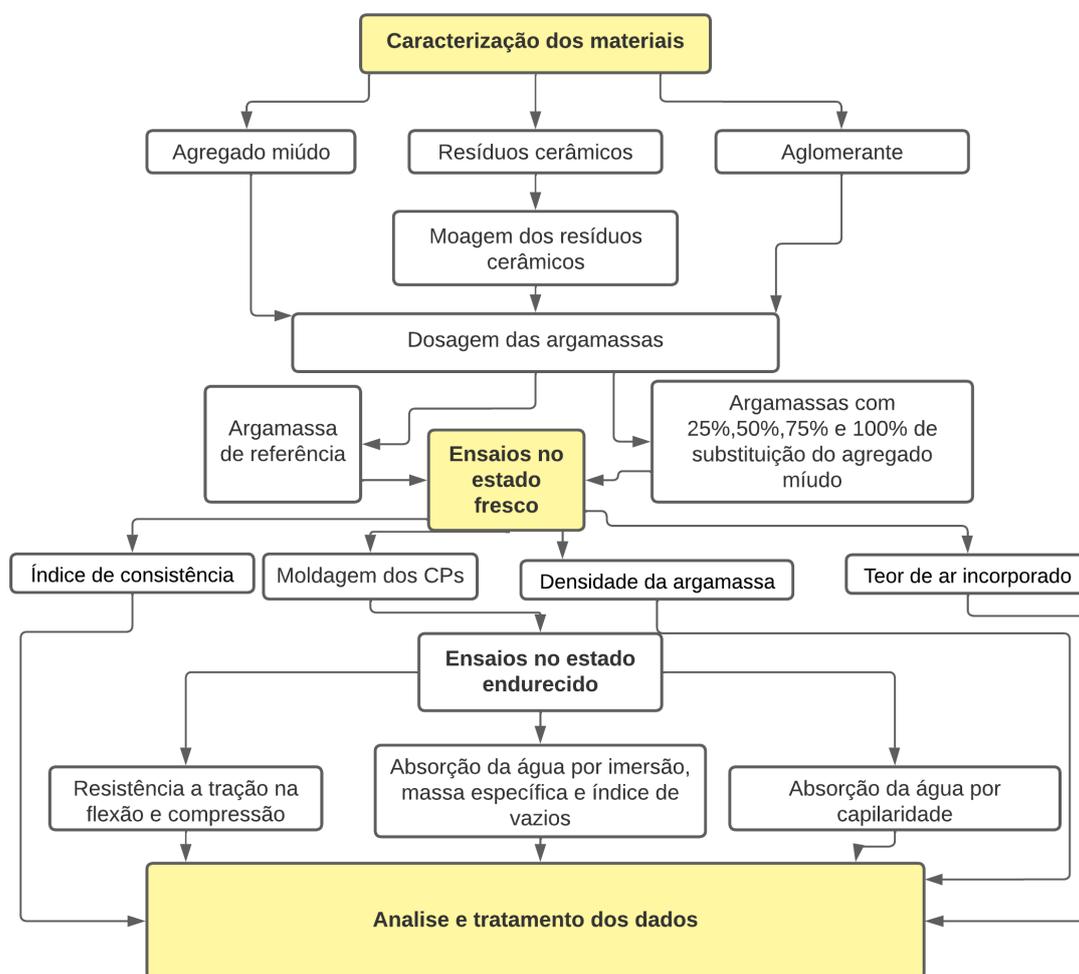
Santana (2018), em seu trabalho conseguiu ver que as argamassas com teores de resíduos reciclados, obtiveram resultados das densidades menores que a da argamassa de agregado natural, quanto maior o teor de resíduos reciclados, menor a densidade, isso se deve também por causa do maior consumo de água e ar incorporado nestas argamassas. Usando o agregado miúdo da britagem de material cimentício, Pissolato Jr (2016), também conseguiu encontrar menores densidades para as argamassas recicladas, ele comenta ainda que, é por causa da massa específica do agregado natural, que tem 2,66g/cm³ contra 2,33g/cm³ do reciclado usado.

Em sua pesquisa, Pinz (2019), utilizando-se RCV com o intuito de substituir o agregado natural em algumas argamassas e em outras substituir o cimento. Nos seus ensaios para a absorção por capilaridade, ela observou que, quanto maior o teor de RCV na mistura, maior a absorção de água, sendo a que menos absorveu entre todas, inclusive a de referência, foi a argamassa com teor de 5% de RCV no lugar de cimento.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta os materiais e métodos de ensaios necessários para a execução de argamassas realizadas com agregado miúdo natural e argamassas com o agregado reciclado em substituição parciais. Para início é apresentado os materiais empregados para obtenção destas argamassas, e depois os métodos de ensaios para avaliar as propriedades das argamassas confeccionadas. A Figura 3 apresenta o fluxograma de como a pesquisa foi realizada.

Figura 3 - Fluxograma da metodologia



Fonte: O autor (2022).

A Tabela 5 mostra um resumo dos métodos utilizados para os ensaios das argamassas nos estados fresco e endurecido.

Tabela 5 - Resumo da metodologia utilizada

Ensaio no estado fresco	Normas	Ensaio no estado endurecido	Normas
Índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)	Resistência a tração na flexão e a compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)
Densidade de argamassa	NBR 13278 (ABNT, 2005)	Absorção da água por imersão, índice de vazios e massa específica	NBR 9778 (ABNT, 2019)
		Absorção da água por capilaridade	NBR 15259 (ABNT, 2005)
		Densidade de massa	NBR 13280 (ABNT, 2005)

Fonte: O autor (2022)

Para a substituição do agregado miúdo natural pelo agregado reciclado cerâmico foram adotados os percentuais de substituição de 25%, 50%, 75% e 100%. Estes valores foram adotados para se avaliar o comportamento das argamassas em cada teor, chegando até a substituição de 100% do agregado miúdo natural. Com o objetivo de padronizar o nome para cada traço de argamassa foi criado uma nomenclatura, conforme a exibido na Tabela 6.

Tabela 6 - Nomenclatura das argamassas

Abreviatura	Traço
REF	Argamassa com agregado natural
A25	Argamassa com teor de 25% de substituição
A50	Argamassa com teor de 50% de substituição
A75	Argamassa com teor de 75% de substituição
A100	Argamassa com teor de 100% de substituição

Fonte: O autor (2022)

A moldagem da pesquisa utilizou corpos de provas de formato prismático de dimensões 40 x 40 x 160 mm. Para poder avaliar os resultados conforme as normativas, foram moldados um total 45 de corpos de prova, os mesmos corpos usados na tração na flexão foram usados para os ensaios de resistência a

compressão, assim como os mesmos corpos de prova do ensaio da absorção por capilaridade foi utilizado nos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica. A Tabela 7 apresenta a quantidade de amostras por traço e quantidade total de ensaios.

Tabela 7 - Quantitativos de ensaios

Ensaio no estado endurecido	Quantidade de traços	Amostras	Número de ensaios
Resistência a tração	5	3	15
Resistência a compressão	5	6	30
Absorção da água por imersão, massa específica e índice de vazios	5	3	15
Absorção da água por capilaridade	5	3	15

Fonte: O autor (2022)

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Estão descritos nessa etapa os materiais necessários para a confecção das amostras. Essa etapa é importante ser realizada para determinar suas composições e características.

3.1.1 Agregado miúdo natural

O agregado miúdo natural utilizado é adquirido de um comércio local em Bento Gonçalves, vinda da extração natural de rio. Para determinação das propriedades físicas do agregado pela distribuição granulométrica será usada a NBR 17054 (ABNT, 2022) a determinação da massa específica será feita com a NBR NM 52 (ABNT, 2009) e a NBR NM 30 (ABNT, 2000) para a absorção. A Tabela 8 apresenta as características do agregado natural utilizado na confecção das argamassas.

Tabela 8 - Características agregado natural

(Continua)

Abertura peneira # (mm)	Retido %	Acumulado %
4,8	2	2
2,4	7	9
1,2	12	21
0,6	14	35

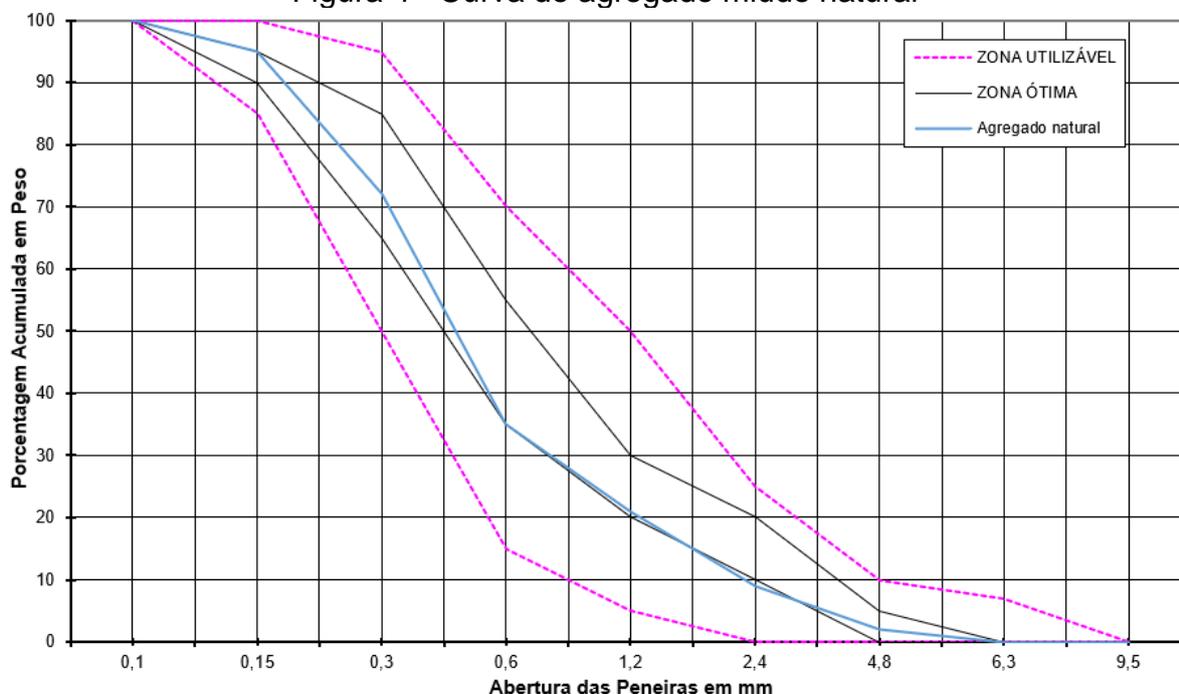
(Conclusão)

0,3	37	72
0,15	23	95
Fundo	5	100
Módulo de finura		2,32
Dimensão característica máxima (mm)		4,8
Material fino (<0,30mm) (%)		28
Massa específica (g/cm ³)		2,62
Absorção (%)		0,48

Fonte: O autor (2022)

A Figura 4 mostra a curva granulométrica do agregado miúdo natural (curva em azul) de acordo com os resultados obtidos na Tabela 8.

Figura 4 - Curva do agregado miúdo natural



Fonte: O autor (2022)

3.1.2 Agregado miúdo reciclado

Para a obtenção foi coletado restos de cerâmicas vermelhas de uma obra em Bento Gonçalves, estas pertencentes somente de tijolos utilizados na alvenaria de vedação. Para a obtenção destes resíduos como agregado miúdo foi realizada a moagem pela empresa Scariot localizada em Caxias do Sul, onde o resíduo foi britado em um moinho de mandíbulas (Figura 5). Esta máquina é composta por um

alimentador vibratório, seguido por uma esteira que leva o material até o britador, após passar pelo britador o material é separado conforme um padrão granulométrico.

Figura 5 - Máquina usada para a obtenção dos agregados reciclados



Fonte: SCARIOT (2022)

Foi realizado um ajuste da granulometria em laboratório (Tabela 9), a fim de apresentar uma distribuição granulométrica próxima ao do agregado miúdo natural a ser substituído. O ajuste da curva foi em função das quantidades em massa de resíduos que se tinha retido em cada peneira. Para o agregado reciclado foi utilizado os mesmos ensaios realizados com agregado miúdo natural, com a finalidade de ter os resultados comparados. A Figura 6 mostra a curva granulométrica que foi adotada para o agregado reciclado, mantendo sempre dentro da curva ótima. A curva em laranja mostra a granulometria do agregado miúdo reciclado que foi adotada. A Figura 7 mostra o agregado miúdo reciclado a partir da cerâmica já distribuído de acordo com a curva granulométrica.

Tabela 9 - Características resíduo cerâmico

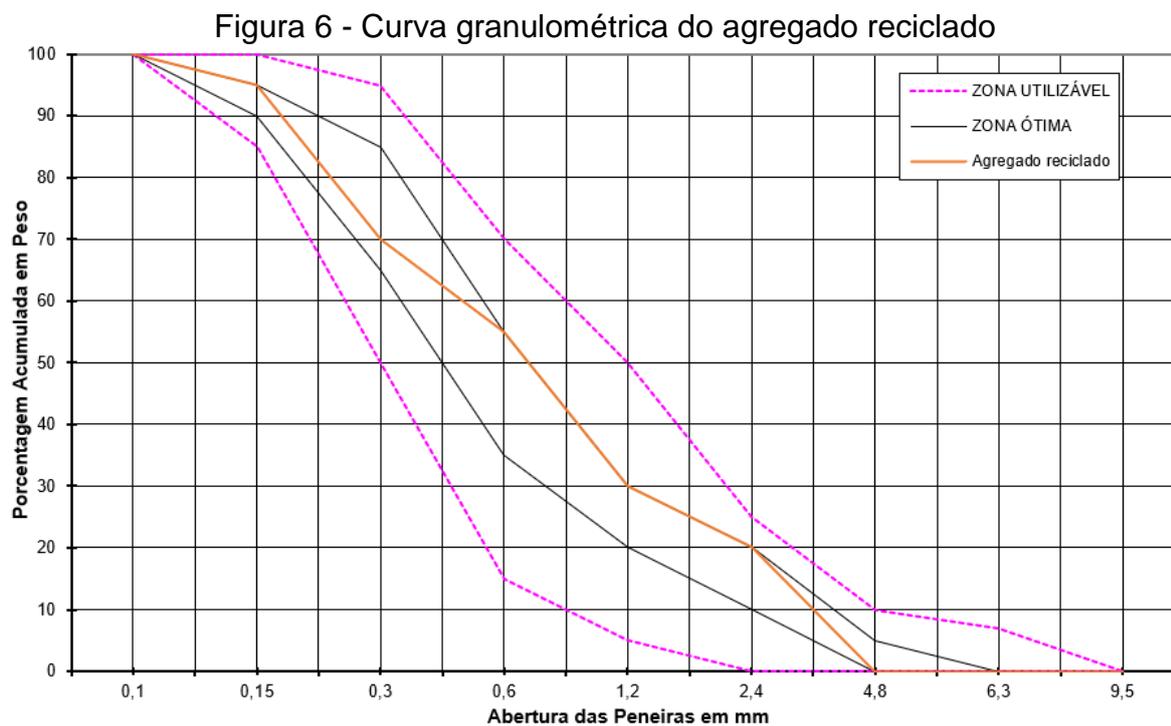
Abertura peneira # (mm)	Retido %	Acumulado %
4,8	0	0
2,4	20	20
1,2	10	30
0,6	25	55
0,3	15	70

(continua)

(conclusão)

	0,15	25	95
Fundo		5	100
Módulo de finura			2,70
Dimensão característica máxima (mm)			2,4
Material fino (<0,30mm) (%)			30
Massa específica (g/cm ³)			1,52
Absorção (%)			28,83

Fonte: O autor (2022)



Fonte: O autor (2022)

Figura 7 - Agregado miúdo cerâmico



Fonte: O autor (2022)

3.1.3 Aglomerante

O aglomerante utilizado para a pesquisa será o cimento Itambé CP II-F-40 para a confecção das argamassas. A Tabela 10 apresenta as características químicas do cimento, e a Tabela 11 mostra suas características físicas, fornecidas pelo fabricante.

Tabela 10 - Características químicas do cimento

Característica	Resultado médio (%)
Al ₂ O ₃	4,48
SiO ₂	18,72
Fe ₂ O ₃	2,82
CaO	60,73
MgO	3,20
SO ₃	2,75
Perda Fogo	5,76
CaO Livre	1,61
Resíduo Insolúvel	0,82
Equivalente Alcalino	0,69

Fonte: Itambé (2022)

Tabela 11 - Características físicas do cimento

Característica	Resultado
Início da pega (min)	175
Fim da Pega (min)	224
Massa específica (g/cm ³)	3,04
Resistência a compressão aos 1 dias MPa	22,3
Resistência a compressão aos 3 dias MPa	35,9
Resistência a compressão aos 7 dias MPa	41,8
Resistência a compressão aos 28 dias MPa	50,5

Fonte: Itambé (2022)

3.1.4 Água

Para a realização das argamassas foi utilizada nas misturas água proveniente da rede tratada do sistema de abastecimento a da cidade Bento Gonçalves. A água é adicionada durante a mistura dos materiais, a fim de se obter a mesma faixa de trabalhabilidade entre os traços.

3.2 EXECUÇÃO DA ARGAMASSA DE CONTRAPISO

Borges (2015) usou em sua pesquisa o traço de 1:4 em massa no traço de contrapiso para todas as argamassas de referências e com resíduos, este trabalho utilizou também este traço, contando com a relação da água/cimento em 1,12 o mesmo utilizado em seu trabalho na argamassa de referência. A substituição foi pela massa do agregado miúdo natural, substituindo 25%, 50%, 75%, e 100% pelo reciclado cerâmico. A substituição de cada percentual, foi realizada através de uma compensação de volume de agregados, em busca de ajustar as quantidades em função de suas massas específicas, pois em uma substituição simples em massa possivelmente teremos uma discrepância em relação ao volume final dos materiais, modificando o traço. O cálculo para tal compensação foi através da Equação 1.

Equação 1:

$$M_{amr} = \frac{M_{amn} \cdot y_{amr}}{y_{amn}}$$

Onde:

M_{amr} (kg) = massa do agregado miúdo reciclado a ser utilizado;

M_{amn} (kg) = massa do agregado natural a ser substituído;

γ_{amr} (kg/m³) = massa específica do agregado miúdo reciclado;

γ_{amn} (kg/m³) = massa específica do agregado miúdo natural.

Para a confecção da argamassa, os materiais passaram por uma secagem em estufa no laboratório. A Tabela 12 mostra os quantitativos de materiais para a confecção das argamassas, além do tempo de mistura das mesmas.

Tabela 12 - Quantitativos de materiais

Traço	Cimento (kg)	Agregado miúdo natural (kg)	Agregado miúdo reciclado (kg)	A/C	Tempo de mistura (min)
REF	1,05	4,20	0,00	0,64	3:00
A25	1,05	3,15	0,61	0,67	4:00
A50	1,05	2,10	1,22	0,66	5:00
A75	1,05	1,05	1,83	0,62	5:00
A100	1,05	0,00	2,44	0,60	6:00

Fonte: O autor (2022)

As argamassas foram feitas em uma argamassadeira do tipo planetária, da seguinte forma: primeiramente a água na bacia, em seguida todo o cimento do traço, e conforme se misturando a água foi adicionado o agregado miúdo. Para os traços com substituição do agregado miúdo natural pelo agregado miúdo reciclado, foi realizado uma pré-molhagem, devido as características de absorção desses materiais serem muito distintas. O agregado miúdo reciclado passou por uma pré-molhagem de 80% medido em massa, ou seja, 80% de sua capacidade de absorção de água, com a finalidade de inserir o material na mistura com um equilíbrio e não absorver a água do traço, assim como Padovan (2013) testou em seu trabalho. Cada traço foi separado e feita sua pré-molhagem individualmente com 72 horas de antecedência. Quando feita a mistura das argamassas com teores de substituição, o agregado reciclado foi adicionado após o natural. Após a moldagem dos corpos de prova as argamassas ficaram ao ambiente para o processo de cura.

A Tabela 13 apresenta as quantidades de água em massa para cada traço, a quantidade da mistura, a quantidade da pré – molhagem e a relação de a/c da água usada para a mistura da argamassa.

Tabela 13 - Água nas argamassas

Traço	Água na mistura (kg)	Água na pré – molhagem (kg)	A/C
REF	0,68	-	0,64
A25	0,71	0,14	0,67
A50	0,69	0,28	0,66
A75	0,65	0,42	0,62
A100	0,63	0,56	0,60

Fonte: O autor (2022)

Como é possível observar na Tabela 13, a coluna da pré – molhagem indica a quantidade de água que foi adicionada diretamente nos resíduos reciclados 72 horas antes da confecção das argamassas.

3.2 ENSAIOS NO ESTADO FRESCO DAS ARGAMASSAS

Os métodos que foram usados para o estudo das propriedades das argamassas no estado fresco estão apresentados neste capítulo, foram feitos todos os ensaios no Laboratório de Materiais de Construção Civil, da Universidade de Caxias do Sul – CARVI. A Tabela 14 mostra os ensaios que foram feitos para as argamassas no estado fresco.

Tabela 14 - Ensaio no estado Fresco

Ensaio no estado fresco	Métodos
Índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)
Densidade de argamassa	NBR 13278 (ABNT, 2005)

Fonte: O autor (2022)

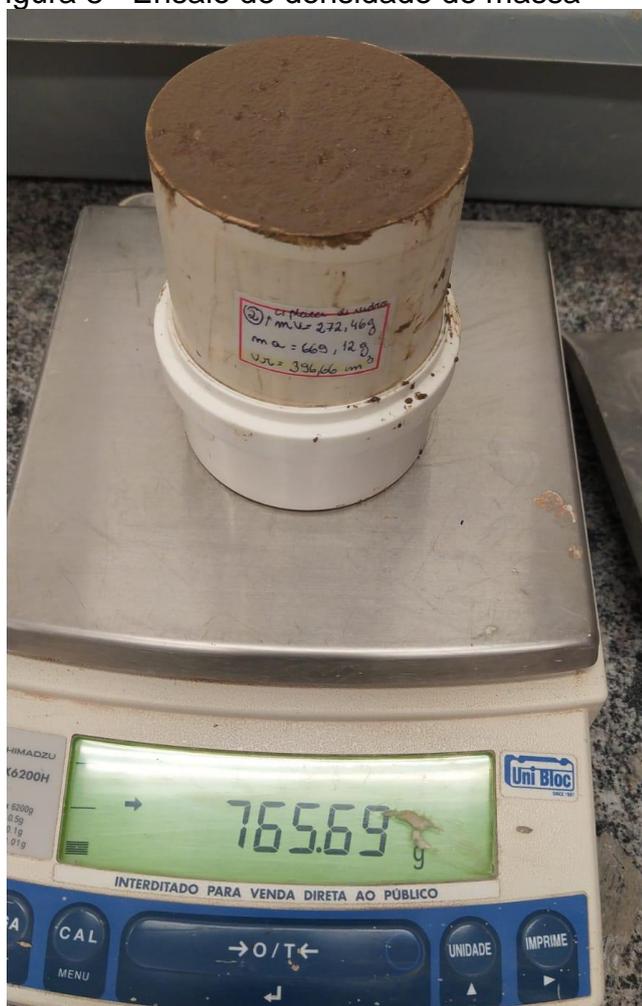
3.2.1 Índice de consistência

Para a determinação do índice de consistência da argamassa no estado fresco foram realizados três ensaios para cada traço de argamassa. No ensaio de espalhamento é feita a moldagem em uma forma sobre a mesa de abatimento, três camadas com 15, 10, 5 golpes nessa ordem, após isso, a forma é removida e a argamassa é submetida a 30 golpes na mesa de abatimento, onde é aplicada um golpe por segundo, e após isso é feita a medida do diâmetro que a argamassa fez na mesa, conforme a NBR 13276 (ABTN, 2016).

3.2.2 Densidade da argamassa

Para determinar a densidade da massa foram realizados três ensaios para cada traço de argamassa, conforme especificado na norma NBR 13278 (ABNT, 2005). Para o ensaio são realizadas três camadas de argamassa na mesma altura, em um recipiente de capacidade conhecida, e cada camada com 20 golpes, os golpes e as camadas foram feitos de acordo com a norma regente, após isso, é feita as medições da massa que é usada no cálculo de densidade e teor de ar da argamassa. A Figura 8 mostra o recipiente de massa e volume conhecido (396,66 cm³) já cheio de argamassa sobre a balança.

Figura 8 - Ensaio de densidade de massa



Fonte: O autor (2022)

3.3 ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO DAS ARGAMASSAS

Neste trabalho foram realizados ensaios no estado endurecido para determinar as propriedades mecânicas das argamassas, conforme a Tabela 15.

Tabela 15 - Ensaio no estado endurecido

Ensaio no estado endurecido	Métodos
Resistência a tração na flexão e a compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)
Absorção por imersão	NBR 9778 (ABNT, 2019)
Massa específica e índice de vazios	NBR 9778 (ABNT, 2019)
Absorção por capilaridade	NBR 15259 (ABNT, 2005)
Densidade de massa	NBR 13280 (ABNT, 2005)

Fonte: O autor (2022)

3.3.1 Resistência a tração na flexão e compressão

Para determinar as resistências a compressão e tração na flexão foi de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Para isso foram feitos três corpos de prova prismáticos, sendo realizados para cada argamassa três ensaios de tração na flexão e seis para a resistência a compressão. Os ensaios aconteceram para as idades de 7 e 28 dias.

3.3.2 Absorção da água por imersão, massa específica e índice de vazios

Usando as massas determinadas de acordo a NBR 9778 (ABNT, 2019), o ensaio foi realizado após os 28 dias de cura, foram colocadas as amostras em estufa com a temperatura de aproximadamente 105 ± 5 °C e mantidas por 72 horas, este ensaio foram utilizados 3 corpos de prova de cada traço, depois desse processo é determinada a massa das amostras secas. Depois de resfriados foi realizado o processo de secagem e pesagem das amostras, posterior a isso as amostras são saturadas novamente por 72 horas em um tanque de água, em seguida dessa saturação se dá início ao um novo processo de saturação onde as amostras são fervidas por 5 horas. Após realizada a nova fervura as amostras ficaram dentro desse mesmo recipiente esfriando até chegar na temperatura ambiente.

Por fim é realizada a pesagem das amostras saturadas, com auxílio de uma balança hidrostática de precisão, conforme a NBR 9778 (ABNT, 2019). Para fins de cálculo é realizado a média dos 3 corpos de prova ensaiados por traço, conforme as Equações 2,3, e 4.

Equação 2:

$$Abs = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \cdot 100$$

Onde:

Abs = absorção de água por imersão (%);

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado (kg);

M_{sec} = massa do corpo de prova seco (kg).

Equação 3:

$$I = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_1)} \cdot 100$$

Onde:

I = índice de vazios;

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado (kg);

M_{sec} = massa do corpo de prova seco (kg);

M₁ = massa do corpo de prova saturado, imerso em água (kg).

Equação 4

$$M_s = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_1)}$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado (kg);

M_{sec} = massa do corpo de prova seco (kg);

M₁ = massa do corpo de prova saturado, imerso em água (kg);

M_s = massa específica (kg/m³).

3.3.3 Absorção da água por capilaridade

Para ser avaliada essa característica foram feitos ensaios de acordo com NBR 15259 (ABNT, 2005). Para tanto foi realizado o ensaio em três amostras para cada traço das argamassas, após os 28 dias da cura da argamassa. O corpo de prova deve estar na água com lâmina aproximada de 5 mm de espessura. Logo após deve ser medida a massa do corpo de prova nos intervalos de 10 e 90 minutos. A determinação destes parâmetros se dará pelas equações 5 e 6.

Equação 5:

$$At = \frac{mt - m0}{16}$$

Onde:

At = absorção de água por capilaridade, para cada tempo, em gramas por centímetro quadrado;

Msat = massa do corpo de prova saturado (Kg);

Msec = massa do corpo de prova seco (Kg).

Equação 6:

$$C = (m90 - m0)$$

Onde:

C = Coeficiente de capilaridade, em g/dm².min^{1/2}.

3.3.4 Densidade de massa no estado endurecido

Foram realizadas três amostras com seus respectivos traços e assim determinar a densidade de massa aparente no estado endurecido conforme a norma NBR 13280 (ABNT, 2005). Para se chegar aos valores, foram medidos três corpos de provas prismáticos, todos eles com três medidas para cada dimensão do corpo prismático. Aos 28 dias foram pesados estes corpos de prova. Com os valores medidos foi possível determinar a densidade aparente no estado endurecido de cada traço.

3.4 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

A análise e tratamento dados obtidos nos ensaios de resistência à compressão e resistência à tração na flexão, foram analisados por meio da análise de variância (ANOVA) para verificação dos resultados obtidos sobre as propriedades analisadas. O nível de confiabilidade adotado é de 95%, utilizando como auxílio o editor de planilhas Excel.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo é sobre os resultados obtidos nos ensaios das argamassas, todos executados conforme as normas já citadas nas Tabelas 14 e 15. Primeiramente é apresentado os resultados no estado fresco e por fim os resultados do estado endurecido.

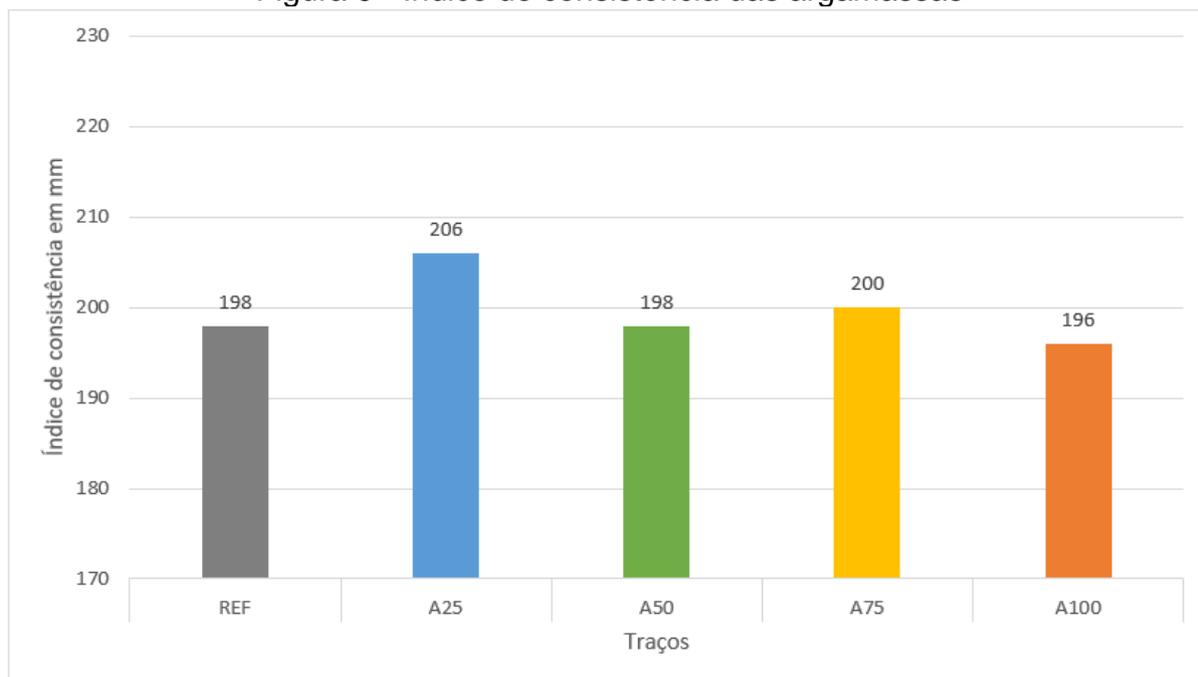
4.1 RESULTADOS NO ESTADO FRESCO

Os resultados dos ensaios no estado fresco para as argamassas empregadas neta pesquisa estão apresentadas neste item.

4.1.1 Índice de consistência

Os cálculos para a compensação de água foram feitos, e mesmo com isso a argamassa A25 já possuía uma maior trabalhabilidade, por isso as argamassas de A50, A75 e A100 foram feitas diferentes, foi adicionado a água até atender a faixa de trabalhabilidade de 200 mm. A pré-molhagem pode ter sido um fator que favoreceu as argamassas com agregados reciclados, pois durante a mistura se observou menores relações de água/cimento na mistura, e mesmo assim estas apresentavam uma trabalhabilidade adequada ao traço de contrapiso, conforme mostra a Figura 9 os resultados para a trabalhabilidade.

Figura 9 - Índice de consistência das argamassas

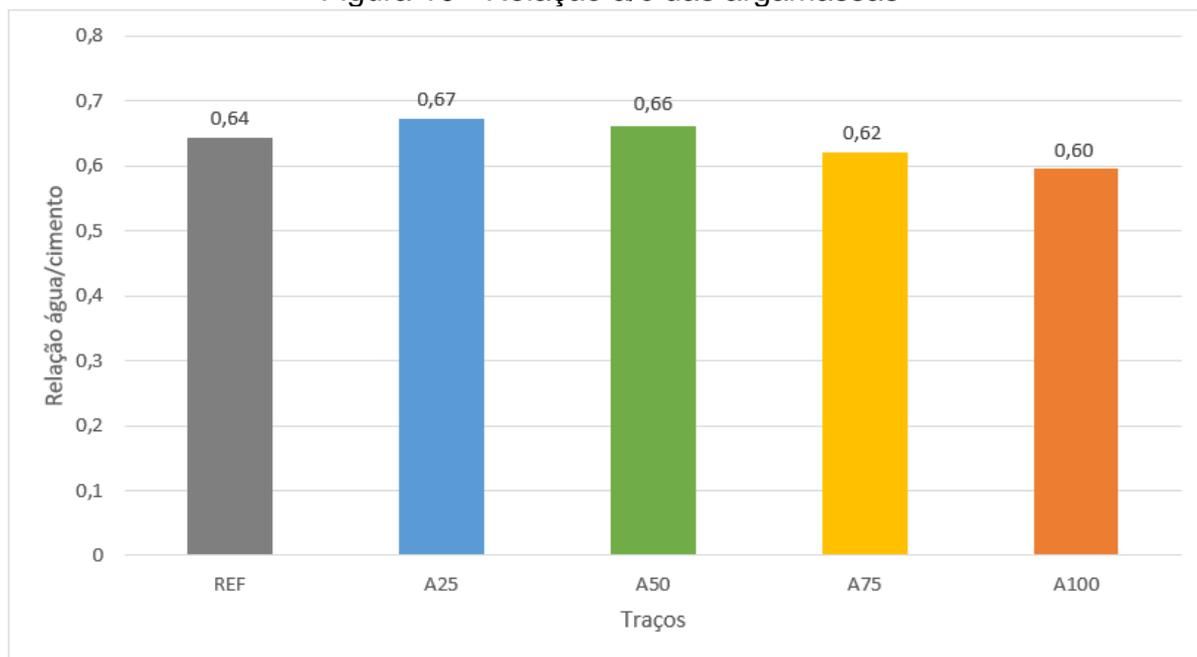


Fonte: O autor (2022)

Conforme a figura, é possível ver que a argamassa A25 teve uma maior trabalhabilidade, pois como já colocado, todos os resíduos tiveram a pré-molhagem feita, claro que essa trabalhabilidade está dentro do limite da pesquisa. Com isso as compensações de água na mistura seriam feitas, pois era esperado que o alto nível de absorção do agregado reciclado influenciasse na consistência da argamassa, mas não foi o que ocorreu com as argamassas de maiores teores de resíduos, elas apresentavam maior trabalhabilidade. Carvalho (2016) a argamassa mantém sua trabalhabilidade graças a sua retenção de água, e essa retenção é maior nas argamassas com resíduos cerâmicos.

Santana (2018) em seu trabalho também encontrou maiores índices de consistências para as argamassas recicladas, e o motivo principal é aumento de água e o teor de ar incorporado nestas argamassas. Porém, neste trabalho não houve maiores adições de água nas argamassas com resíduos cerâmicos, pois já houve a pré-molhagem destes resíduos antes da confecção das argamassas. A Figura 10 mostra o resultado para as relações de água/cimento das argamassas. Padovan (2013) em sua pesquisa concluiu que a pré-molhagem resulta em menores quantidades de água na mistura para que se obtenha o nível de abatimento desejado.

Figura 10 - Relação a/c das argamassas



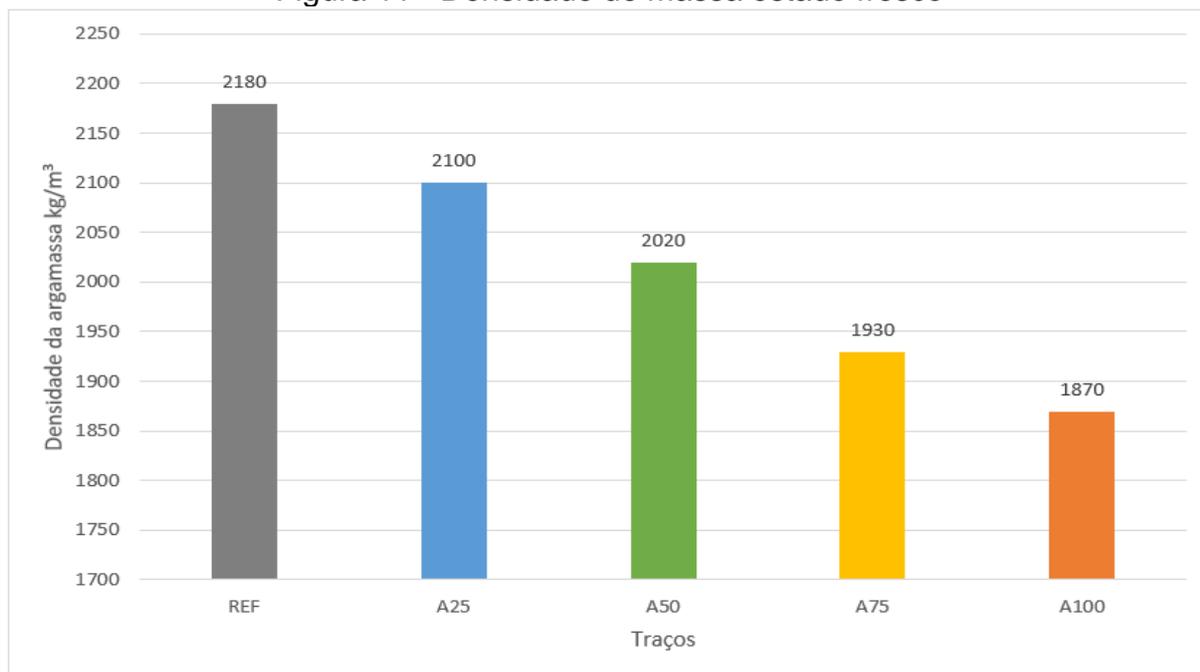
Fonte: O autor (2022)

Na Figura 10, a argamassa REF aparece com 0,64 de a/c e a A25 com 0,67, mostrando que seria seguido as compensações matemáticas, mas como já dito, não foi necessário, as argamassas com maiores tores de resíduos apresentaram a mesma trabalhabilidade com menores relação de água/cimento.

4.1.2 Densidade de massa

A Figura 11, apresenta os resultados na densidade de massa no estado fresco. É possível perceber a redução da densidade conforme o aumento do teor de substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado.

Figura 11 - Densidade de massa estado fresco



Fonte: O autor (2022)

Como pode ser observado, a argamassa A100 teve a menor densidade de massa no estado fresco, e a argamassa de referência sendo a mais densa. Esses valores menores para as argamassas recicladas podem ser explicados pelo motivo dos resíduos cerâmicos serem mais leves que o agregado natural, conforme já citado, o agregado natural tem 2620 kg/m^3 contra 1520 kg/m^3 do agregado cerâmico reciclado, isto para as massas específicas dos materiais. Assim como explica em sua pesquisa Pissolato JR (2016), essas diferenças se dão em função dos agregados reciclados usados, que são mais leves. Diante dos dados é possível perceber que quanto maior a inserção de resíduo cerâmico substituindo o agregado miúdo natural, mais leve será a argamassa.

4.2 RESULTADOS NO ESTADO ENDURECIDO

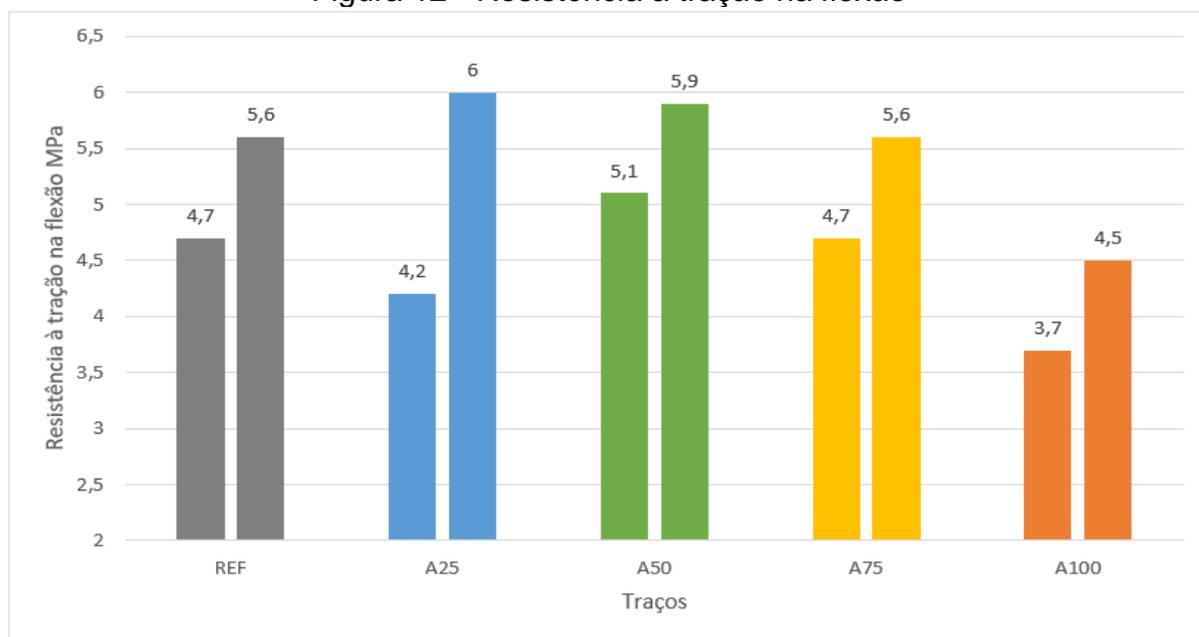
Os resultados das propriedades no estado endurecido das argamassas desta pesquisa estão apresentados abaixo.

4.2.1 Resistência a compressão e tração na flexão

As argamassas apresentaram resultados similares para a resistência a tração na flexão, com exceção da A100 que teve um resultado abaixo das demais, com um

teto de 4,5 MPa de resistência assim como mostra a Figura 12. As colunas estão divididas em cores para cada argamassa, sendo as colunas menores os resultados de 7 dias (esquerda) e as colunas maiores (direita), os de 28 dias.

Figura 12 - Resistência a tração na flexão



Fonte: O autor (2022)

Segundo Cabral (2007) os resíduos inseridos em compósitos cimentícios não afetam tanto na resistência à tração quanto afeta na resistência à compressão. Leite (2001) afirma que essa propriedade está ligada aos mecanismos de aderências físicas entre as partículas, fazendo os agregados reciclados promoverem uma boa aderência entre o agregado e a pasta, por causa de seu formato irregular e rugoso.

Com o intuito de avaliar com maior refinamento os resultados de tração na flexão, a Tabela 16 apresenta a análise de variância para os valores desta propriedade das argamassas empregadas nesta pesquisa aos 28 dias.

Tabela 16 - ANOVA resistência a tração na flexão

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F Crítico	Valor de P	Efeito significativo
Entre os traços	4	4,306	1,076	5,469	3,478	0,013	S
Erro	10	1,968	0,196				

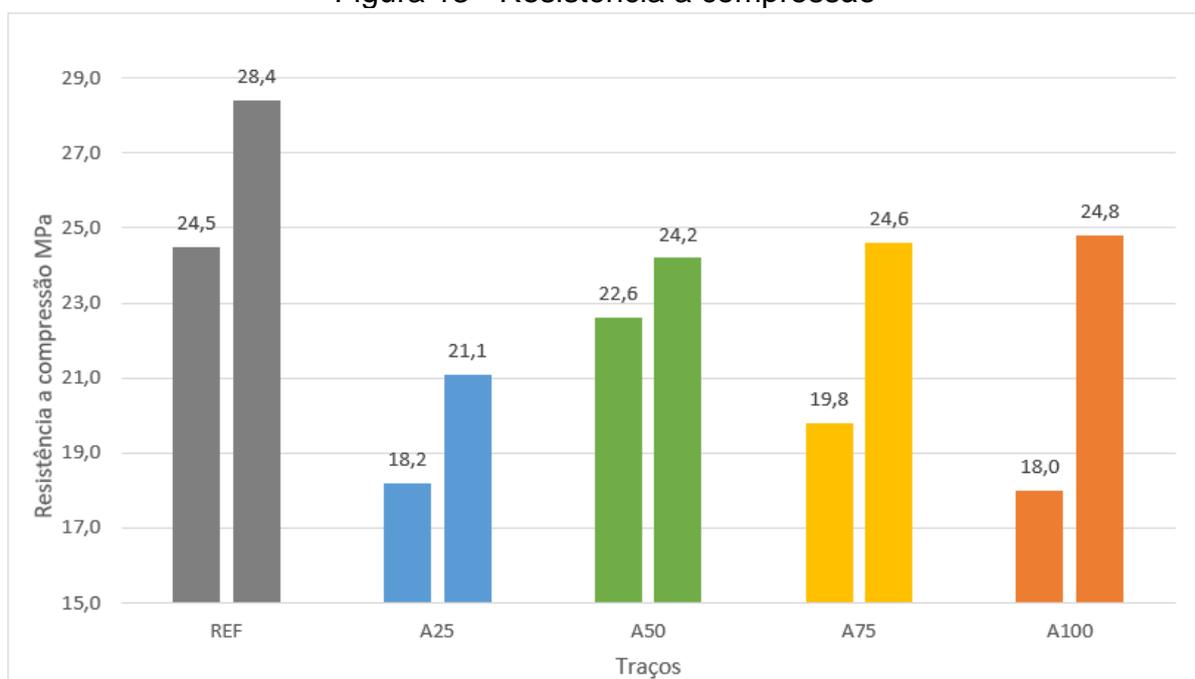
Fonte: O autor (2022)

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95%, efeito significativo (valor de 'p' inferior a 0,05), ou seja, os diferentes teores de

substituição de agregado natural por agregado reciclado, apresentam diferenças nesta propriedade.

Para a resistência a compressão as argamassas apresentaram valores similares entre as que tiveram inserções do resíduo cerâmico, já a argamassa REF teve os maiores valores para esse quesito. A argamassa A25, que teve a maior relação de água/cimento, teve menores resultados de resistência a compressão. A Figura 13 traz os resultados para a resistência a compressão das argamassas, os de 7 dias (colunas da esquerda), e aos 28 dias (colunas da direita).

Figura 13 - Resistência a compressão



Fonte: O autor (2022)

Como é possível ver, os traços de 50%, 75% e 100% de substituição apresentaram valores similares, pois mesmo que o resíduo fosse inserido na argamassa, fazendo ela perder resistência, o fator a/c era menor, fazendo assim as argamassas manterem resistências parecidas. Carvalho (2016), em sua pesquisa encontrou menores valores de resistência para as argamassas com teores de substituição acima de 25%. Cabral (2007) diz que os agregados reciclados geralmente apresentam menores resistências mecânicas, em função de suas características físicas, porosidade e absorção de água que são mais altas e suas massas específicas e unitárias que são menores.

Com o intuito de avaliar com maior refinamento os resultados resistência a compressão, a Tabela 17 apresenta a análise de variância para os valores desta propriedade aos 28 dias das argamassas empregadas nesta pesquisa.

Tabela 17 - ANOVA resistências a compressão

Fonte	GDL	SQ	MQ	F	F Crítico	Valor de P	Efeito significativo
Entre os traços	4	146,1	36,54	11,03	2,758	2,69E-05	S
Erro	25	82,76	3,310				

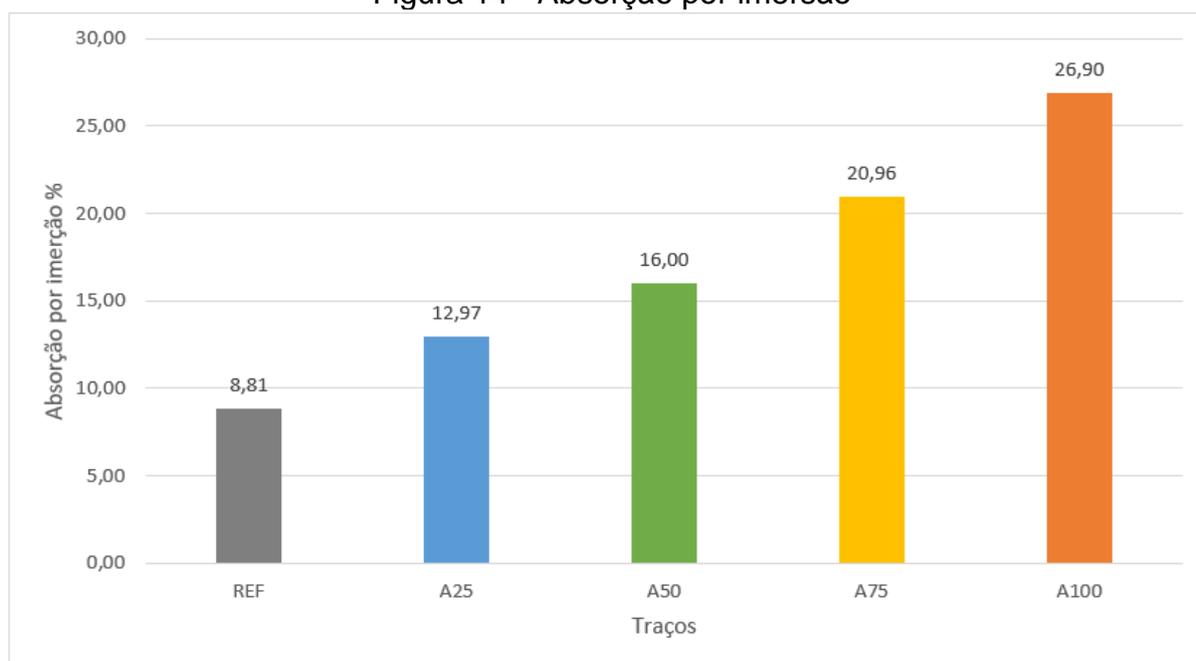
Fonte: O autor (2022)

O resultado de análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95%, efeito significativo (valor de 'p' superior a 0,05), ou seja, os diferentes teores de substituição de agregado natural por agregado reciclado, apresentam diferenças nesta propriedade.

4.2.2 Absorção da água por imersão, massa específica e índice de vazios

Para os resultados de absorção por imersão as argamassas demonstraram que a porcentagem de absorção evolui conforme o teor de resíduos cerâmicos, partindo de um início da argamassa de referência com 8,81% de absorção até a argamassa A100 com 26,90% de absorção, assim como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Absorção por imersão

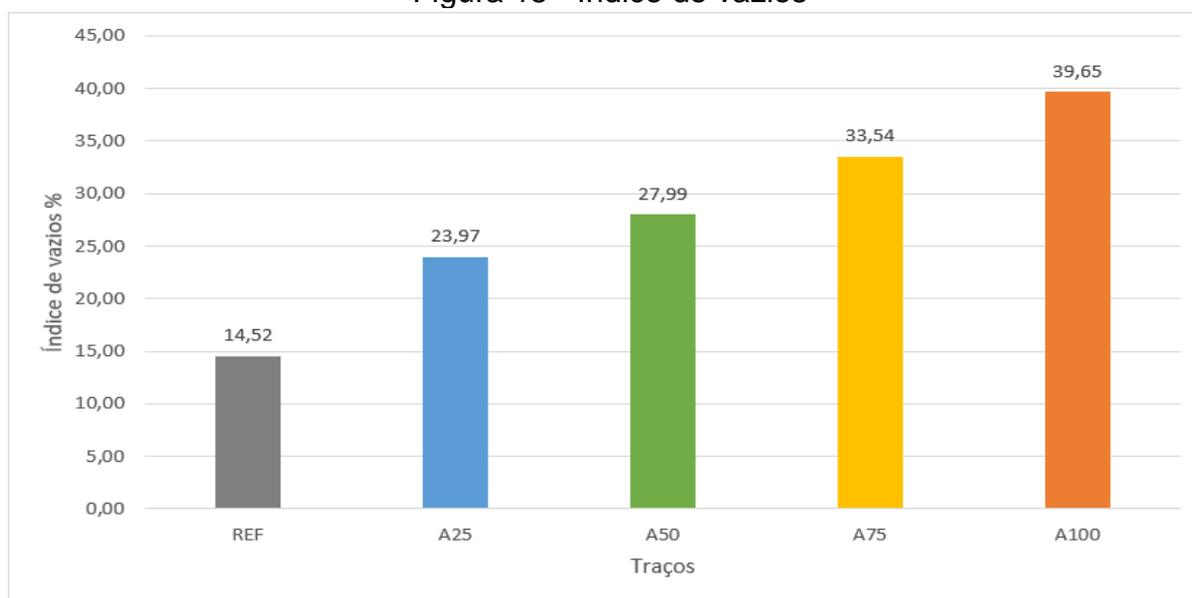


Fonte: O autor (2022)

Analisando os resultados, é visível que quanto maior a substituição do agregado miúdo natural pelo reciclado, maior a absorção. Pinz (2019) as argamassas com resíduo de cerâmica vermelha tornam-se mais porosas, e conseqüentemente tem maiores absorção de água.

Quanto ao índice de vazios, percebemos que há maiores valores em função do teor de do agregado reciclado cerâmico, sendo a argamassa cada vez mais porosa, isso pode explicar os maiores valores para a absorção por imersão, assim como mostra Figura 15.

Figura 15 - Índice de vazios

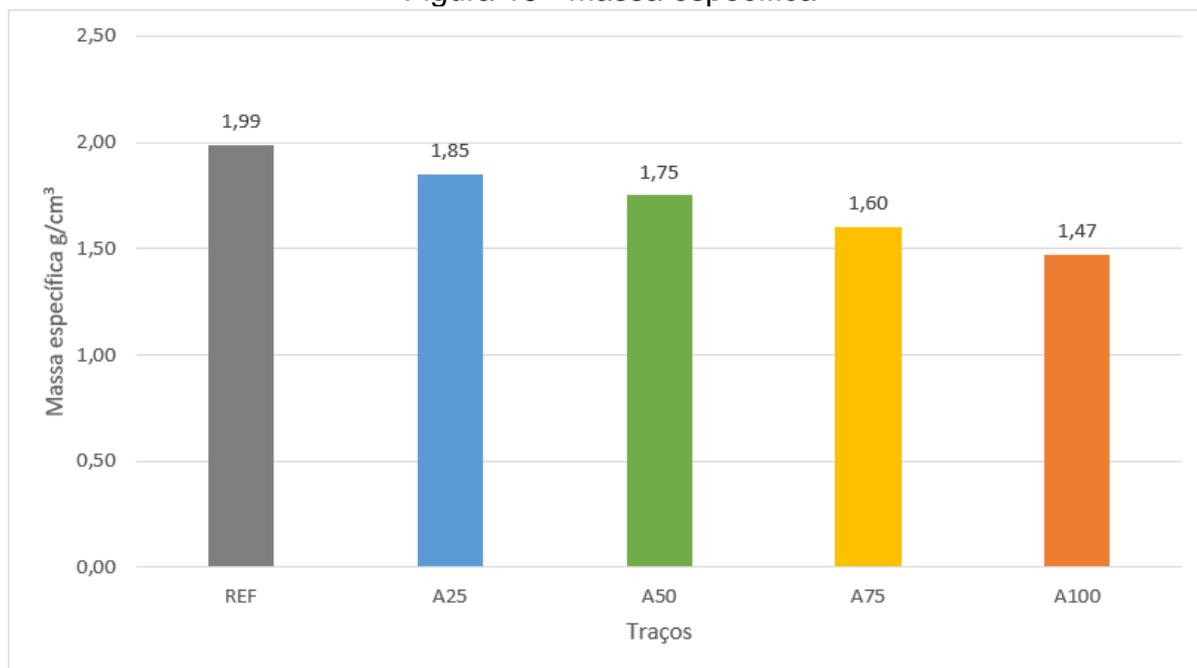


Fonte: O autor (2022)

As argamassas também tiveram uma crescente taxa de vazios em função dos teores de substituição, demonstrando que o resíduo cerâmico contribuiu muito para uma argamassa com maior índice de porosidade. Isto aconteceu em virtude do próprio material cerâmico que teve 28% de absorção da água, mostrando-se um material com alta porosidade.

Já em relação a massa específica das argamassas, também é visível uma evolução em cada traço de substituição, porém, desta vez é a diminuição da massa específica em função do teor substituído, quanto maior a substituição do agregado natural pelo cerâmico, mais leve será a argamassa. A Figura 16 mostra os valores para cada argamassa testada.

Figura 16 - Massa específica



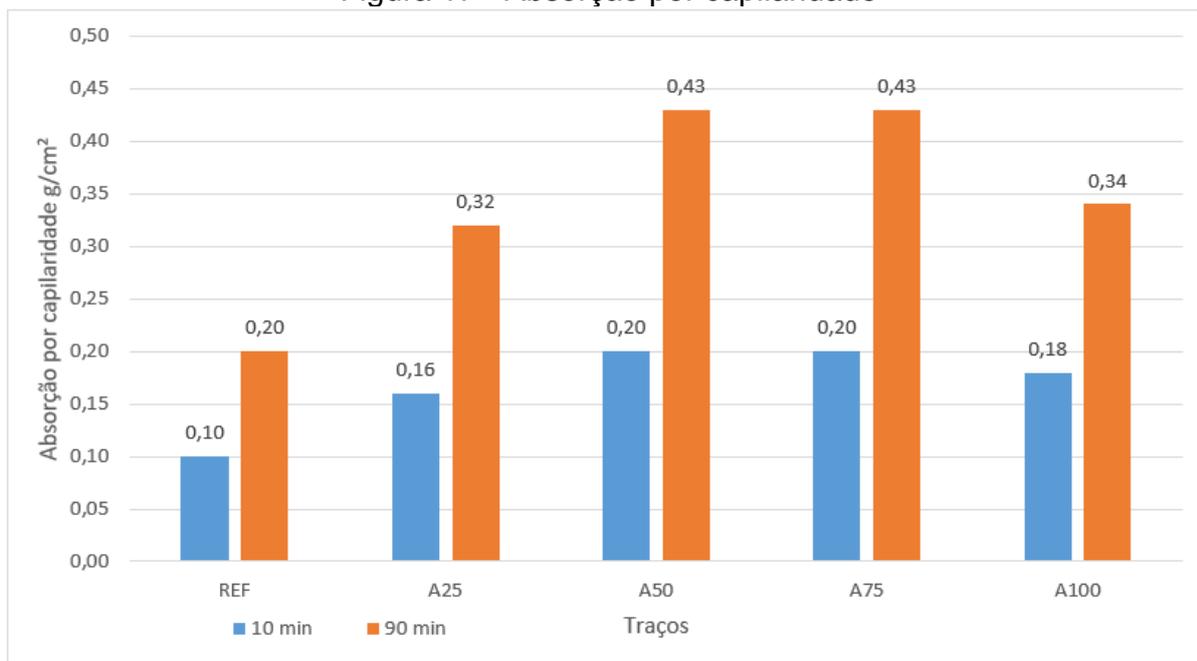
Fonte: O autor (2022)

Como já analisado nos fatores de absorção por imersão e índice de vazios, a propriedade de massa específica também está diretamente ligada ao agregado cerâmico em função de ser mais leve, uma vez que quantidade de cimento para a realização das argamassas não mudou, já as de resíduos foram menores massas para a realização da mesma quantidade de corpos de prova, provando assim que o material total já era mais leve. Barbosa (2014) encontrou em seu trabalho argamassas (com resíduos de obra) mais leves que com agregados naturais, em função do agregado ter menor massa específica.

4.2.3 Absorção da água por capilaridade

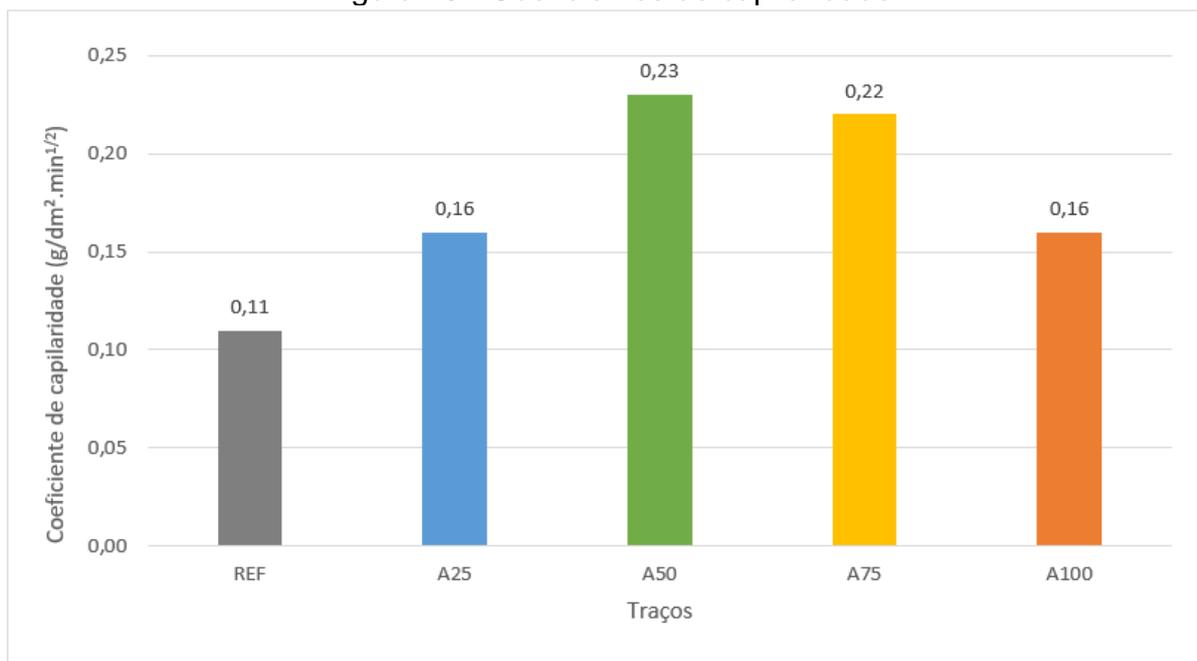
A absorção por capilaridade das argamassas, os ensaios mostram que as argamassas com resíduos reciclados têm maior absorção por capilaridade, todas tiveram maior absorção em relação a REF, a Figura 17 apresenta a absorção nos dois tempos, 10 min e 90 min, enquanto a Figura 18 mostra os resultados obtidos para os coeficientes de capilaridades.

Figura 17 - Absorção por capilaridade



Fonte: O autor (2022)

Figura 18 - Coeficientes de capilaridade



Fonte: O autor (2022)

Analisando as Figuras, percebemos que a A100 não segue a tendência de absorção das outras argamassas, que é de aumentar conforme o teor de resíduos cerâmicos. Por outro lado, a argamassa A50 teve a maior absorção por capilaridade, mostrando que a correlação dos dois agregados, miúdo natural e reciclado cerâmico,

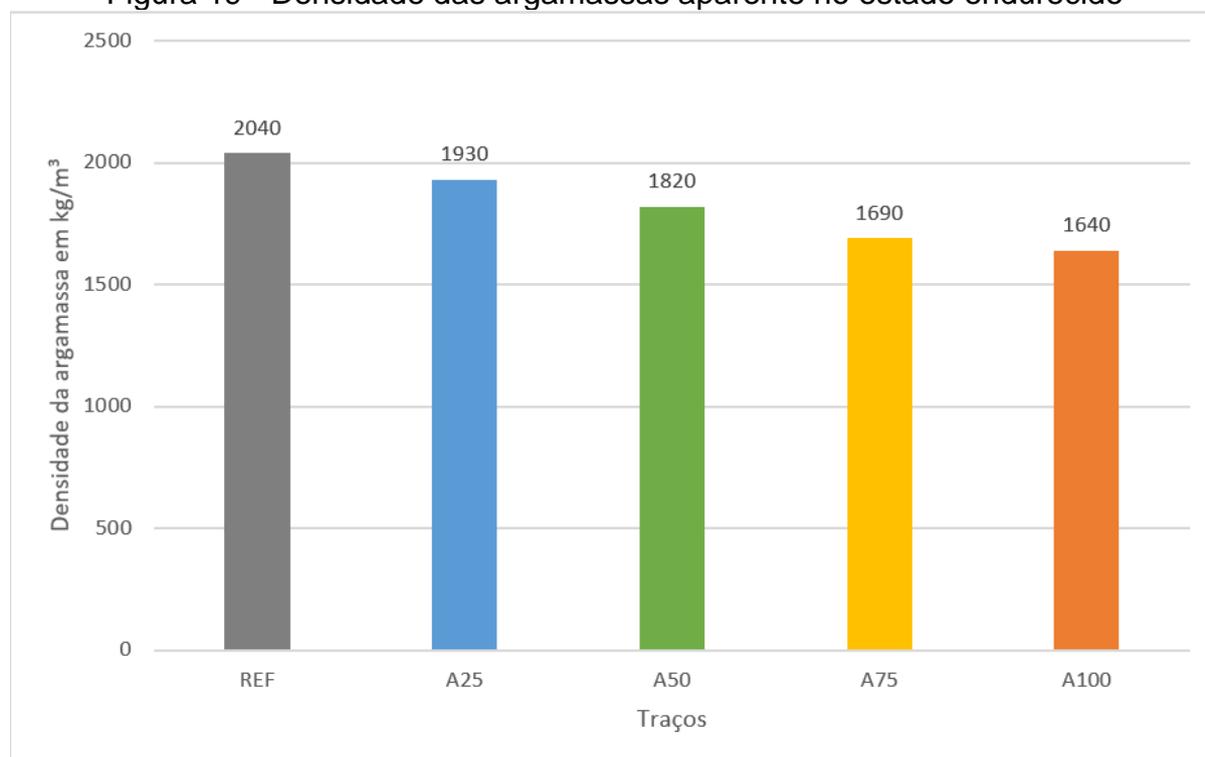
apresentaram maiores absorções da água por capilaridade em vez da argamassa com o teor total substituição.

Segundo Bicca (2000) o material cerâmico é bastante poroso, e neste trabalho não provou o contrário, trazendo estas argamassas com índices de absorção por capilaridade maiores que a argamassa REF. Todas as argamassas com algum teor de resíduo de cerâmica vermelha teve o índice de capilaridade maior, entretanto a A100 teve uma queda, por causa do aumento dos poros, quando isso acontece faz a água perder força para subir.

4.2.4 Densidade aparente da argamassa no estado endurecido

As densidades das argamassas tiveram bons resultados nesse quesito, pois já era esperado segundo as bibliografias. Assim como Pissolato Jr (2016) e Santana (2018), as argamassas com resíduos reciclados apresentaram menores densidades no estado fresco. Pissolato Jr (2016) afirma que é em razão das massas específicas dos agregados, os reciclados tendo menores massas fizeram com que a densidade da argamassa aparente no estado endurecido serem mais leves, assim como mostra a Figura 19.

Figura 19 - Densidade das argamassas aparente no estado endurecido



Fonte: O autor (2022)

Para este traço de contrapiso 1:4 foi possível perceber a redução gradual das densidades para cada traço confeccionado, assim a argamassa A100 teve uma densidade de 1640 kg/m^3 contra a REF de 2040 kg/m^3 , o que já esperado, em virtude dos resultados já no estado fresco.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é possível perceber que os resíduos estão relacionados as várias propriedades das argamassas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. O resíduo cerâmico reciclado apresentou diferenças em vários aspectos para o agregado natural, sendo bem mais poroso e leve. Ao realizar os ensaios foi-se percebendo as diferenças que as argamassas apresentavam em função de cada teor de resíduo cerâmico inserido na mistura.

O uso de resíduos cerâmicos em argamassas de contrapiso, neste traço de 1:4, mesmo havendo diminuição das resistências mecânicas, é bem satisfatório quanto algumas propriedades, como: a trabalhabilidade e o peso destas argamassas, que se mostraram serem mais leves. De acordo com os dados podemos concluir que:

a) A influência dos teores de substituição no estado fresco;

A pré-molhagem contribuiu para os menores índices de a/c , uma vez que, compensou a absorção de água dos resíduos. Estes sendo mais leves e porosos contribuíram para a boa trabalhabilidade das argamassas. Neste sentido se obteve argamassas mais leves já no estado fresco.

b) A influência dos teores de substituição no estado endurecido;

O fato de os resíduos cerâmicos serem mais leves e porosos, contribuíram diretamente para as menores resistências mecânicas das argamassas recicladas, mesmo que apresentassem resultados levemente menores. Quanto as absorções e índice de vazios, se percebeu maiores índices, causados pela inserção do agregado reciclado nas argamassas. Com isso a argamassa teve menor massa específica, menor densidade de massa aparente no estado endurecido e conseqüentemente maiores absorções de água.

c) Qual argamassa apresenta um melhor desempenho frente as propriedades avaliadas;

As argamassas com resíduos apresentaram bons resultados de uma maneira geral, tendo maiores trabalhabilidades e menores massa específicas. Em contra partida resultaram em menores resistências mecânicas.

As argamassas com resíduos de construção civil podem ser mais vantajosas, pois não necessitam ser extraídas da natureza, sendo um ponto positivo do ponto de vista ecológico e possivelmente economicamente. A argamassa com total substituição do agregado miúdo (A100) mostrou resultados muito bons, tendo as menores massas específicas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido. Além disso teve bons resultados para o índice de consistência com menor quantidade de água. Com isso, todas as argamassas com teores de resíduos cerâmicos inseridos são boas e podem ser empregadas para o traço de contrapiso.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

- Usar outro tipo específico de resíduo da construção civil;
- Fazer testes de desempenho acústico nas argamassas;
- Fazer ensaios para o módulo de elasticidade das argamassas;
- Fazer ensaios para aderência das argamassas;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCERAM. **Matérias primas naturais**. ABCERAM. Disponível em: <https://abceram.org.br/materias-primas-naturais/>. Acesso em: 21/05/2022.

ABRECON. **O que é entulho**. ABRECON. Disponível em: <https://abrecon.org.br/reciclagem-de-entulho-residuos-da-construcao-e-demolicao-rcd/o-que-e-entulho/>. Acesso em: 21/05/2022.

ANGELIM, Renato R.; ANGELIM, Susane C. M.; CARASEK, Helena. **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa**. SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas São Paulo, p 159-168, junho 2003.

ANGULO, Sérgio Cirelli. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e de concreto**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

ANGULO, Sérgio Cirelli; FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. **Concreto com agregados reciclados**. In: Concreto: ciência e tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011.

ARAUJO, Rísia Amaral. **Influência da utilização de resíduos de cerâmica vermelha nas propriedades de argamassas mistas**. 2017. Dissertação (Mestrado) - Universidade federal do Rio Grande do Norte, 2017.

ARNOLD, Daiana Cristina Metz. **Análise da forma dos grãos nas propriedades das argamassas**. 2011. Dissertação (Mestrado)-Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: **Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR NM 30: **Agregados miúdos – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

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

_____. NBR 7211: **Agregados para concreto - Especificação**. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. ABNT, Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 11579: **Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200) – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012.

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

_____. NBR 13278: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado**. Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. NBR 13279: **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão**. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. NBR 13529: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. ABNT, Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13753: **Revestimentos de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com a utilização de argamassa colante**. ABNT, Rio de Janeiro, 1996.

_____. NBR 15116: **Agregados reciclados para uso em argamassas e concretos de cimento Portland – Requisitos e métodos de ensaios**. ABNT, Rio de Janeiro, 2021.

_____. NBR 15259: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção da água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. ABNT, Rio de Janeiro, 2005.

_____. NBR 17054: **Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio**. ABNT, Rio de Janeiro, 2022.

BARBOSA, Ricardo Antônio. **Caracterização mecânica de argamassas confeccionadas com resíduos da construção gerados na própria obra**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de. **Tecnologias de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais**. 1991. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1991.

BAVARESCO, Carlos Roberto. **Utilização de entulho reciclado para produção de argamassas**. 2001. Dissertação (Mestrado) - a Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

BERTOLINI, Luca. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**; tradução Leda Maria Marques Dias Beck -- São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

BICCA, Ismael da Silva. **Estudo da viabilidade de utilização do rejeito cerâmico, como agregado graúdo, na produção de concretos com características estruturais**. 2000. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

BORGES, Joice Giuliani Krás. **Análise das propriedades acústicas de contrapisos produzidos com materiais reciclados**. 2015. Dissertação (Mestrado) Universidade do Vale do Rio dos Sinos, programa de pós-graduação em Engenharia Civil, 2015.

CABRAL, Antonio Eduardo Bezzera. **Modelagem de propriedades mecânicas e de durabilidades de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. Tese (Doutorado)-Escola de engenharia de São Carlos, 2007.

CABRAL, A. E. B; SANTOS, D. V. **Análise técnica da reciclagem de resíduos de construção em canteiro de obras**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3,

p. 363-383, jul./set. 2020. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000300434>

CARASEK, Helena. Argamassas. In: ISAIA, G. C (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2ªed. São Paulo, IBRACON, 2010. Cap 28. p. 893-943.

CAVALHO, Carlos Mavíael De. **Caraterização de resíduos da indústria cerâmica e seu emprego de argamassas de cimento Portland**. 2016. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal da Paraíba, 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. **Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil**. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf

DUBAJ, Eduardo. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre**. 2000. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2442/000319569.pdf?sequence=1&isAll owed=y>.

FAGURY, Samir Costa; GRANDE, Fernando Mazzeo. **Gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) – aspectos gerais da gestão pública de São 84 Carlos/SP**. Exacta, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 35-45, jan./jun. 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/810/81050104.pdf>.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos; GOMES, Rubens Donizeti; SEABRA; Mauro Adamo Seabra. **Guia das argamassas nas construções: Construindo para sempre com Cal Hidratada**. 8ª ed. São Paulo, SP: Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 2004.

HENDGES, Antonio Silvio. Resíduos de Construção e Demolição no Brasil 2010-2019. **EcoDebate**. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2021/06/10/residuos-de-construcao-e-demolicao-no-brasil-2010-2019/> . Acesso em: 21/05/2022.

JOCHEM, Lidiane Fernanda. **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: características físicas e propriedades da microestrutura.** 2012. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.

LARA, Luiz Alcides Mesquita. **Materiais de construção** / Luiz Alcides Mesquita Lara. – Ouro Preto: IFMG, 2013. 214 p.: il.

LAPA, José Silva. **Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra.** 2011. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, 2011.

LEITE, M. A. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Porto Alegre - RS, 2011. 270 p. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MACIEL, M. H.; BERNARDO, H. M.; SOARES, G. S.; ROMANO, R. C. de O.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. **Efeito da variação do consumo de cimento em argamassas de revestimento produzidas com base nos conceitos de mobilidade e empacotamento de partículas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 245-259, jan./mar. 2018. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000100219>

MARQUES NETO, José da Costa. **Diagnóstico para estudo de gestão dos resíduos de construção e demolição do município de São Carlos-SP.** 2003. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. doi:10.11606/D.18.2016.tde-19082016-162322. Acesso em: 2022-05-23

MELO, Adriana Virgínia Santana. **Diretrizes para a produção de agregado reciclado em usinas de reciclagem de resíduos da construção civil.** 2011. 232 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011. Disponível em:

<http://www.ppec.ufba.br/site/publicacoes/diretrizespara-producao-de-agregado-reciclado-em-usinas-de-reciclagem-de-residuos-da-co>.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 670 p.

Mendes, B. S., & Borja, E. V. de. (2008). **ESTUDO EXPERIMENTAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE CERÂMICAS VERMELHAS RECICLADAS**. HOLOS, 3, 43–51. <https://doi.org/10.15628/holos.2007.127>

MONTE JÚNIOR, Ítalo Vale. **Influência do agregado reciclado de concreto no comportamento de argamassas mistas para uso em revestimento**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

MORAIS, T. A. **Estudo do uso do agregado miúdo reciclado de concreto na produção de argamassa para revestimento vertical**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MORALES, Bianca Rafaela da Silva Calderón. **Avaliação da influência das frações de agregado reciclado nas propriedades das argamassas de revestimento**. 2015. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, 2015.

OLIVEIRA, Orley Magalhães De. **Utilização de resíduos da indústria cerâmica para obtenção de novos produtos cerâmicos**. 2016. Tese (Doutorado)-Escola Politécnica de São Paulo, 2016.

PADOVAN, Rafaela Gava. **Influência da pré-molhagem nas propriedades de concretos produzidos com agregado reciclado de concreto**. 2013. Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.

PEDROSO, Ruben Francisco Esteche. **Influência da substituição do agregado miúdo natural por agregado reciclado fino em propriedades de argamassas e**

concretos. 2008. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2008.

PEREIRA, Eduardo; MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; LEVY, Salomon Mony. **Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 125-134, jul. / set. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ac/v12n3/v12n3a09.pdf>.

PINZ, Francielli Priebbernow. **Influência do uso do resíduo de cerâmica vermelha em argamassas na substituição parcial do agregado ou do cimento**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pelotas, 2019.

PISSOLATO JR, Osvaldo. **Argamassa de revestimento usando areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil**. 2016. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, 2016.

POSSA, Suelen Alexandre; ANTUNES, Elaine Guglielmi Pavei. **Proposta de reutilização do resíduo de cerâmica vermelha proveniente da construção civil e demolições no município de criciúma**. Revista de tecnologia e ambiente, Criciúma, v. 22, p. 147-161, 2016. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/tecnoambiente/article/view/2968>.

RODRIGUES, Clarissa Ribeiro de Sá; FUCALE, Stela. **Dosagem de concretos produzidos com agregado miúdo reciclado de resíduo da construção civil**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 99-111, jan. / mar. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/ac/v14n1/v14n1a09.pdf>.

SANTANA, Thiago Da Silva. **Avaliação da influência da utilização de agregado miúdo reciclado em argamassas estabilizadas**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, 2018.

SANTOS, White José Dos. **Argamassa de alto desempenho**. 2011. Dissertação (Mestrado em ambiente construído) - Universidade Federal de Juiz de Fora, 2011.

SOUSA, J. G. G; BAUER, E. **Contribuição ao estudo da trabalhabilidade das argamassas mistas**. SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas São Paulo, p 279-289, junho 2003.

ULSEN, Carina. **Caracterização tecnológica de resíduos de construção e demolição**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/D.3.2006.tde-08122006-164321. Acesso em: 2022-05-24.

VIANA, Karla Simone da Cunha Lima. **Metodologia simplificada de gerenciamento de resíduos sólidos em canteiro de obras**. 2009. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

ANEXOS – A Valores coletados em laboratório

Valores no estado fresco

DADOS								ABSORÇÃO POR IMERÇÃO, ÍNDICE DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA					CAPILARIDADE			TRAÇOS
CP	PESO NO ESTADO SECO	PESO AOS 10 MIN	PESO AOS 90 MIN	PESO SATURADO	PESO SECO ESTUFA	PESO IMERSO	VOLUME	MASSA ESPECÍFICA/MÉDIA	ÍNDICE DE VAZIOS/ MÉDIA	ABSORÇÃO POR IMERÇÃO/ MÉDIA	Abs aos 10/ MÉDIA	Abs aos 90/ MÉDIA				
1	584,79	586,18	587,89	608,93	559,35	328,17	286,8	1,99	17,66	8,86	0,09	0,19				
2	579,86	581,45	583,09	601,2	554,14	323,53	283,0	2,00	16,95	8,49	0,10	0,20	0,20	0,11	REF	
3	540,42	542	543,76	562,76	515,98	302,21	265,4	1,98	17,95	9,07	0,10	0,21				
4	528,21	530,96	533,58	560,75	496,27	292,42	274,6	1,85	24,03	12,99	0,17	0,34				
5	519,37	521,65	523,8	545,94	483,03	283,25	269,0	1,84	23,95	13,02	0,14	0,28	0,32	0,16	A25	
6	522,67	525,35	528,13	554,48	491,11	289,66	270,8	1,85	23,93	12,90	0,17	0,34				
7	480,91	484,14	487,96	527,27	454,63	267,72	265,2	1,75	27,99	15,98	0,20	0,44				
8	487,32	490,42	494	530,71	457,78	269	267,2	1,75	27,87	15,93	0,19	0,42	0,43	0,23	A50	
9	479,3	482,51	486,28	525,91	452,96	266,49	265,0	1,75	28,12	16,11	0,20	0,44				
10	447,92	451,36	455,37	503,94	416,11	242,87	270,0	1,59	33,64	21,11	0,22	0,47				
11	459,77	462,82	465,95	510,1	421,5	246,77	266,5	1,60	33,65	21,02	0,19	0,39	0,43	0,22	A75	
12	465,73	496,12		519,1	429,88	251,53	275,1	1,61	33,34	20,75						
13	436,12	439,13	441,93	495,8	390,29	230,35	268,9	1,47	39,75	27,03	0,19	0,36				
14	443,8	446,3	448,18	494,86	390,28	230,57	265,7	1,48	39,57	26,80	0,16	0,27	0,34	0,16	A100	
15	428,42	431,68	434,54	488,59	385,12	227,45	264,2	1,47	39,62	26,87	0,20	0,38				

Valores no estado endurecido, tração na flexão

TRAÇÃO NA FLEXÃO	CP	7 DIAS	28 DIAS	Média aos 7	Média aos 28
		REFERENCIA			
	CP				
	1,0	5,0	6,4	4,7	5,6
	2,0	5,0	5,4		
	3,0	4,2	5,1		
	A25				
	CP				
	1,0	4,3	5,7	4,2	6,0
	2,0	4,7	6,0		
	3,0	3,6	6,3		
	A50				
	CP				
	1,0			5,1	5,9
	2,0		5,9		
	3,0	5,1			
	A75				
	CP				
	1,0	5,2	5,7	4,7	5,6
	2,0	4,5	5,6		
	3,0	4,3	5,6		
	A100				
	CP				
	1,0	3,2	4,2	3,7	4,5
	2,0	4,1	5,2		
	3,0	3,8	4,0		

Valores no estado endurecido, compressão

COMPRESSÃO		7 DIAS	28 DIAS	Média aos 7	Média aos 28
	REFERENCIA				
	CP				
	1,0	23,3	26,4	24,5	28,4
	2,0	22,4			
	3,0				
	4,0	26,6	28,3		
	5,0	25,6	30,4		
	6,0				
A25					
	CP				
	1,0		19,4	18,2	21,1
	2,0		23,2		
	3,0	18,8	21,2		
	4,0	19,8	20,5		
	5,0	16,8			
	6,0	17,2			
A50					
	CP				
	1,0	24,8		22,6	24,2
	2,0				
	3,0	21,7	26,2		
	4,0		24,0		
	5,0	20,4	24,0		
	6,0	23,3	22,5		
A75					
	CP				
	1,0	19,0	21,0	19,8	24,6
	2,0		26,8		
	3,0	20,0			
	4,0	21,9			
	5,0	19,0	25,7		
	6,0	19,0	24,8		
A100					
	CP				
	1,0	19,5	23,1	18,0	24,8
	2,0	19,5	26,5		
	3,0	18,2	27,8		
	4,0	17,2	26,5		
	5,0	16,0	23,0		
	6,0	17,6	22,0		