

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo



Dissertação

**Análise do uso de resíduos da construção civil como substituinte parcial do
aglomerante em argamassa de revestimento**

Ana Paula Sturbelle Schiller

Pelotas, 2021

Ana Paula Sturbelle Schiller

Análise do uso de resíduos da construção civil como substituinte parcial do aglomerante em argamassa de revestimento

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ariela da Silva Torres
Coorientador: Prof. Dr. Charlei Marcelo Paliga

Pelotas, 2021

CATALOGAÇÃO

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S334a Schiller, Ana Paula Sturbelle

Análise do uso de resíduos da construção civil como substituinte parcial do aglomerante em argamassa de revestimento / Ana Paula Sturbelle Schiller ; Ariela da Silva Torres, orientadora ; Charlei Marcelo Paliga, coorientador. — Pelotas, 2021.

103 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. Tecnologia da arquitetura. 2. Argamassa de revestimento. 3. Resíduos de construção civil. 4. Resíduo de construção e demolição. 5. Resíduo da indústria de pré-moldados. I. Torres, Ariela da Silva, orient. II. Paliga, Charlei Marcelo, coorient. III. Título.

CDD : 720

Elaborada por Simone Godinho Maisonave CRB: 10/1733

Ana Paula Sturbelle Schiller

Análise do uso de resíduos da construção civil como substituinte parcial do aglomerante em argamassa de revestimento.

Dissertação aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 29 de setembro de 2021.

Banca examinadora:

.....
Prof^a. Dr^a. Ariela da Silva Torres (Orientadora)
Doutora em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof. Dr. Charlei Marcelo Paliga (Coorientador)
Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof^a Dr^a Isabel Tourinho Salamoni
Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

.....
Prof^a. Dr^a. Angela Azevedo de Azevedo
Doutora em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

.....
Prof^a. Dr^a. Margarete Regina Freitas Gonçalves
Doutora em Engenharia, área de concentração Ciência dos Materiais, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho aos meus pais, Pedro Brenol e Leni e aos meus filhos, Valentim e Pedro.

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores, Ariela Torres e Charlei Paliga, pela orientação, pelo conhecimento e pela dedicação no desenvolvimento deste trabalho. Considero vocês excelentes profissionais e foi um privilégio tê-los como meus orientadores. Obrigada pela paciência, pelo carinho e pela amizade.

Aos meus pais, Pedro Brenol e Leni, por todo amor e carinho. Agradeço, também, pelo incentivo ao longo da minha vida, por acreditarem nos meus sonhos, por serem exemplos de pessoas amorosas, honestas e justas. Obrigada por serem avós maravilhosos, por cuidarem do Pedro e do Valentim, e brincarem com eles sempre que possível para que eu pudesse me dedicar a este trabalho. Sem vocês, eu não teria chegado até aqui.

Aos meus filhos, Valentim e Pedro, que apesar de tão pequenos já me ensinaram tanto sobre o amor.

Agradeço também aos meus irmãos, Marcos e Márcia, pelo carinho, pela amizade e por me encorajarem nos momentos difíceis.

Agradeço à Alici, que durante o primeiro ano desta pesquisa, dedicou suas tardes para cuidar do Valentim, e à Yasmin, que nos últimos meses cuidou do Pedro. Obrigada por toda atenção e carinho com meus filhos.

Agradeço ao Núcleo de Estudos em Materiais Compósitos da Universidade Federal de Pelotas. Em especial à direção do CEng, ao laboratorista Rodrigo de Castro e à bolsista Lóren da Cruz, por todo auxílio na realização dos ensaios desta pesquisa.

Agradeço ao IFSul Campus Avançado Jaguarão pelo empréstimo do laboratório para realização de parte do experimento.

Aos meus colegas e amigos do Curso Técnico em Edificações, agradeço por todo estímulo durante a realização deste trabalho.

Agradeço ao Danilo Telechi, que gentilmente ajudou na organização dos equipamentos laboratoriais. Às minhas amigas Cristina, Letícia e Michele por tornarem as viagens de Pelotas a Jaguarão mais divertidas e por dedicarem parte do seu tempo para me auxiliarem nas atividades laboratoriais.

À Francielli, por contribuir com dados dos ensaios de RCV. E não somente por isso, mas também por todas as tardes que cuidou do Valentim para eu assistir às aulas no PROGRAU.

Aos colegas mestrandos e bolsistas do grupo NEPAMAT, pelo apoio e colaboração ao longo da realização deste trabalho. Agradeço especialmente a Rafaela Huttner pela colaboração nas atividades laboratoriais.

Às minhas amigas Fabiana, Maiquélen, Natália e Silvana que, de perto ou longe, sempre torceram pelo meu desenvolvimento pessoal e acadêmico, e sempre que possível dedicaram parte do seu tempo para me escutar e manifestar apoio.

À Deise Picolotto pelo incentivo, pela ajuda e acima de tudo pela amizade.

A todos os professores, colegas e coordenação do PROGRAU.

Às empresas que cederam os resíduos para a realização desta pesquisa.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Conhecimento não é aquilo que você sabe, mas o que você faz com aquilo
que você sabe.”
Aldous Huxley*

RESUMO

SCHILLER, Ana Paula Sturbelle. **Análise do uso de resíduos da construção civil como substituinte parcial do aglomerante em argamassa de revestimento.** 2021. 103 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

A construção civil desempenha um papel muito importante para o desenvolvimento econômico e social do país. No entanto, é responsável pela extração de recursos naturais provenientes de fontes não renováveis para a produção dos materiais construtivos e pela elevada geração de resíduos oriundos de perdas durante o processo de construção. Com o intuito de reduzir os impactos ambientais gerados pela construção civil nos últimos anos, vem crescendo a preocupação quanto à disposição final dos resíduos gerados pelo setor. A incorporação deles como matéria-prima para a produção de argamassas é uma alternativa para a minimização dos impactos no meio ambiente. Desta forma, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a potencialidade do uso da fração predominantemente cimentícia de dois resíduos de construção civil (RCC) como substituinte parcial do cimento em argamassas de revestimento, considerando o desempenho físico e mecânico das mesmas. Os resíduos foram coletados em dois locais distintos da cidade de Pelotas/RS, sendo o primeiro proveniente da demolição de um prédio industrial da região central (RCD), e o segundo, proveniente de uma fábrica de artefatos cimentícios (RIPM) localizada na zona norte da cidade. Para a realização do experimento, o traço de referência foi nas proporções de 1:2:8 (cimento, cal e areia) e as substituições do cimento por resíduo foram realizadas nos teores de 5, 10 e 15%. As argamassas foram avaliadas quanto ao desempenho mecânico (resistência à compressão axial, resistência à tração na compressão diametral, resistência à tração na flexão) e físico (absorção de água por capilaridade, absorção por imersão e índices de vazios). A análise estatística demonstrou a viabilidade da substituição do cimento pelo RIPM com teores de substituição de até 15%, uma vez que proporcionam a confecção de argamassas de revestimento sustentáveis, com desempenho mecânico e físico equivalente ao traço de referência na idade de 28 dias. Já no RCD, o teor de 5% apresentou resistência mecânica proporcional ao traço de referência aos 28 dias e os demais traços necessitaram de um período maior para atingir o mesmo desempenho do traço REF. Em relação aos parâmetros físicos o melhor desempenho foi registrado pelo teor de 10% do RCD.

Palavras-chave: Tecnologia da arquitetura, argamassa de revestimento, resíduos de construção civil, resíduo de construção e demolição, resíduo da indústria de pré-moldados.

ABSTRACT

SCHILLER, Ana Paula Sturbelle. **Analysis of the use of construction waste as a partial binder replacer in coating mortar**. 2021. 103 f. Dissertation (Master in Architecture and Urbanism) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Civil construction plays a very important role for the economic and social development of the country. However, it is responsible for the extraction of natural resources from non-renewable sources for the production of building materials and for the high generation of waste from losses during the construction process. In order to reduce the environmental impacts generated by civil construction in recent years, there has been growing concern about the final disposal of waste generated by the sector. The incorporation of them as raw material for the production of mortars is an alternative for minimizing impacts on the environment. Thus, this research aimed to evaluate the potentiality of the use of the predominantly cementitious fraction of two civil construction residues (CMR) as a partial substitute for cement in coating mortars, considering their physical and mechanical performance. The waste was collected in two different locations in the city of Pelotas/RS, the first coming from the demolition of an industrial building in the central region (RCD), and the second, coming from a cementitious artifacts factory (RIPM) located in the northern part of the city. For the experiment, the reference trait was in the proportions of 1:2:8 (cement, lime and sand) and the substitutions of cement by residue were performed at the levels of 5, 10 and 15%. Mortars were evaluated for mechanical performance (axial compressive strength, tensile strength in diametric compression, tensile strength in flexion) and physical (water absorption by capillarity, immersion absorption and void indices). The statistical analysis demonstrated the feasibility of replacing the cement by ripm with replacement levels of up to 15%, since they provide the manufacture of sustainable coating mortars, with mechanical and physical performance equivalent to the reference trait at the age of 28 days. In the RCD, the content of 5% presented mechanical resistance proportional to the reference trait at 28 days and the other traits required a longer period to achieve the same performance of the ref trait. In relation to the physical parameters the best performance was recorded by the content of 10% of the RCD.

Keywords: Architecture technology, coating mortar, construction waste, construction and demolition waste, precast industry residue

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Delineamento da Pesquisa	40
Figura 2 - Local de coleta do RCD	41
Figura 3 - Local de coleta do RIPM	42
Figura 4: (a) RCD no ambiente de coleta (b) RIPM no ambiente industrial.....	43
Figura 5 - Triturador de mandíbula.....	43
Figura 6 -Curva granulométrica dos resíduos	44
Figura 7 - Curva Granulométrica areia	45
Figura 8 - Traços executados no programa experimental	48
Figura 9 - (a) Substituição do cimento por RIPM (b) Substituição do cimento por RCD	49
Figura 10 - Argamassadeira automática de movimento planetário	50
Figura 11 - Verificação do índice de consistência.	51
Figura 12 – Cura dos corpos de prova (a) primeiras 24 horas dos protótipos cilíndricos e 48 horas dos prismáticos (b) corpos de prova de argamassas com cal em cura ao ar.	52
Figura 13 - Corpo de prova na prensa para realização do ensaio de resistência à compressão.....	53
Figura 14 - Corpo de prova na prensa para realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	54
Figura 15 - Adensamento dos corpos de prova prismáticos.....	55
Figura 16 - Corpos de prova em contato com água para o ensaio de absorção	56
Figura 17 - Corpo de prova rompido diametralmente após a absorção por capilaridade.....	56
Figura 18 - Ensaio de absorção por imersão. (a) etapa de saturação dos corpos de prova; (b) etapa de ebulição.....	57
Figura 19 - Resistência à compressão das argamassas nas idades de 7, 28 e 63 dias.....	63
Figura 20 - Teste de Tukey resistência à compressão axial aos 7 dias	67
Figura 21 - Teste de Tukey resistência à compressão axial aos 28 dias	68
Figura 22 - Teste de Tukey resistência à compressão axial aos 63 dias	69
Figura 23 - Resultados de resistência à tração na flexão.....	71
Figura 24 - Teste de Tukey resistência à tração na flexão	72

Figura 25 - Resistência à tração por compressão diametral das argamassas	75
Figura 26 - Teste de Tukey resistência à tração por compressão diametral	77
Figura 27 – Absorção de água por capilaridade das argamassas.....	78
Figura 28 - Teste de Tukey absorção de água por capilaridade	81
Figura 29 - Absorção de água por imersão e índices de vazios.....	83
Figura 30 - Teste de Tukey para absorção por imersão.....	84
Figura 31 - Teste de Tukey para índices de vazios.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Designação normatizada, sigla e classe do cimento Portland	22
Tabela 2 - Limite de proporções do cimento Portland	23
Tabela 3 - Estudos referentes à argamassa com substituição do agregado por RCC	31
Tabela 4 - Estudos referentes à argamassa com substituição do aglomerante por RCC	37
Tabela 5 - Características físicas dos resíduos	45
Tabela 6 - Características físicas da areia	46
Tabela 7 - Características físicas, mecânicas e químicas do cimento	47
Tabela 8 - Características físicas e químicas da cal hidratada.....	47
Tabela 9 - Consumo de material	51
Tabela 10 - Análise das propriedades físicas do cimento	59
Tabela 11 – Análise das propriedades físicas e químicas da cal hidráulica	60
Tabela 12 - Análise dos parâmetros físicos da areia.....	61
Tabela 13 - Análise dos parâmetros físicos entre os resíduos	61
Tabela 14 - Relação água aglomerante dos traços testados	62
Tabela 15 - Resultado da resistência à compressão para 7, 28 e 63 dias	63
Tabela 16 - Desempenho e ganho de resistência à compressão com 7, 28 e 63 dias.	65
Tabela 17 - Análise ANOVA dos resultados de resistência à compressão	66
Tabela 18 – Teste de Tukey dos resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias.....	66
Tabela 19 - Resultados de resistência à tração na flexão	70
Tabela 20 - Análise ANOVA dos resultados à tração na flexão	72
Tabela 21 – Teste de Tukey dos resultados de resistência à tração na flexão	73
Tabela 22 - Resultados da resistência à tração na compressão diametral	75
Tabela 23 - Análise ANOVA dos ensaios à tração por compressão diametral.....	76
Tabela 24 - Resultados de absorção de água por capilaridade	78
Tabela 25 - Análise ANOVA dos ensaios de absorção por capilaridade.....	79
Tabela 26 - Teste de Tukey dos resultados de absorção de água por capilaridade .	80
Tabela 23 - Resultados de absorção por Imersão e Índices de Vazios.....	82
Tabela 24 - Análise ANOVA dos ensaios de absorção por imersão	83

Tabela 25 - Análise ANOVA dos ensaios de índices de vazios.....	84
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivos.....	18
1.2	Delimitações da pesquisa.....	18
1.3	Estrutura da pesquisa.....	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1.	Argamassas.....	21
2.1.1.	Aglomerantes	21
2.1.1.1.	Cimento Portland	22
2.1.1.2.	Cal	24
2.1.2.	Agregado miúdo	25
2.2.	Argamassas com resíduos	26
2.2.1.	Argamassas com resíduos de construção civil (RCC).....	30
3	MATERIAIS E MÉTODO.....	40
3.1	Materiais.....	41
3.1.1	Resíduo de Construção Civil	41
3.1.2	Areia	45
3.1.3	Cimento Portland	46
3.1.4	Cal hidratada	47
3.1.5	Água	48
3.2	Programa experimental	48
3.2.1	Moldagem dos corpos de prova	49
3.2.2	Ensaio de desempenho	53
3.2.2.1	Resistência à compressão axial	53
3.2.2.2	Resistência à tração por compressão diametral	54
3.2.2.3	Resistência à tração por flexão	54
3.2.2.4	Absorção de água por capilaridade	55
3.2.2.5	Absorção de água por imersão e índice de vazios	57
3.3	Análise estatística dos resultados.....	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1	Análise comparativa entre as matérias-primas utilizadas e o fator água/aglomerante deste estudo com o estudo de Pinz (2019)	59

4.2	Análise estatística dos resultados no ensaio endurecido	63
4.2.1	Resistência à compressão axial	63
4.2.2	Resistência à tração na flexão.....	70
4.2.3	Resistência à tração por compressão diametral	74
4.2.4	Absorção de água por capilaridade	77
4.2.5	Absorção por imersão e índice de vazios	82
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
5.1	Sugestões de trabalhos futuros	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
	APÊNDICES	96

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma importante atividade para o desenvolvimento econômico e social do país, uma vez que colabora de forma considerável para a oferta de empregos diretos, isto é, na própria construção civil, e de milhares de empregos indiretos em outras áreas industriais, como da ciência e tecnologia (VIEIRA; NOGUEIRA, 2018). Entretanto, devido à quantidade de matéria-prima utilizada, à poluição sonora e à considerável quantidade de resíduos gerados, esse setor é um dos que mais impactam o meio ambiente (FONSECA; MAINTINGUER, 2019).

A maioria das atividades desenvolvidas no setor da construção civil é geradora de detritos. De acordo com a ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - os materiais remanescentes provenientes de construção de habitações, reformas e demolições, representaram aproximadamente 61% dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil no ano de 2019.

Devido a expressiva quantidade de resíduos produzidos pelo setor da construção civil e pelos impactos causados ao meio ambiente, a gestão destes sedimentos é regulamentada em vários países (SÁ *et al.*, 2018). No Brasil a resolução nº 307 de 2002 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estabelece as diretrizes, critérios e procedimentos quanto à gestão dos resíduos de construção civil.

De acordo com essa resolução, pode-se definir:

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.

Posteriormente, a Resolução nº 307 de 2002 foi complementada pelas Resoluções 348/2004, 431/2011, 448/2012 e 469/2015 e os Resíduos de Construção Civil (RCC) foram classificados da seguinte forma:

- a) Classe A: são resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: resíduos provenientes de construção, demolições, reformas e reparos de pavimentação, terraplanagem, edificações e peças pré-

moldadas em concreto, como componentes cerâmicos, tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa e concreto.

- b) Classe B: são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
- c) Classe C: são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem e recuperação.
- d) Classe D: são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundo de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Ainda de acordo com essa resolução, os geradores de resíduos da construção civil deverão ter como objetivo prioritário a não geração, seguido pela: redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Assim, com o intuito de reduzir os impactos ambientais gerados pela construção civil nos últimos anos, vem crescendo a preocupação quanto à disposição final dos resíduos gerados pelo setor. A incorporação deles como matéria-prima para a produção de argamassas é uma alternativa para a minimização dos impactos no meio ambiente.

Aprecia-se em estudos da área (BRAGA *et al.*, 2011; WICHROWSKA *et al.*, 2019; KNOB *et al.*, 2019) exemplos de ações mitigadoras. No estudo de Braga *et al.* (2011), os autores analisaram a viabilidade de reduzir o consumo de cimento em argamassas através da incorporação de resíduos finos presentes em agregados reciclados provenientes da trituração de concreto. De forma similar, Wichrowska *et al.* (2019) testaram o comportamento do resíduo de concreto como substituinte do aglomerante em argamassas de cimento e areia. Já na pesquisa de Knob *et al.* (2019), os autores estudaram a substituição do agregado miúdo natural utilizado na produção de argamassas de revestimento por resíduos de construção civil.

Segundo Jochem (2012), existem várias possibilidades de aplicações para o RCC em argamassas, podendo ser tanto para revestimento quanto para o assentamento. No entanto, por se tratar de um material heterogêneo com diferentes

granulometrias e distintas propriedades, faz-se necessário a realização de sua caracterização constante para garantir um material alternativo de qualidade.

Levando em consideração a importância do desenvolvimento de tecnologias alternativas que minimizem os impactos causados pelo consumo de recursos naturais para a produção de matéria-prima e, ao mesmo tempo, que possibilitem a reutilização dos resíduos de construção civil, este trabalho partiu da seguinte hipótese: o uso de resíduos de construção civil é uma alternativa viável para a confecção de argamassas de revestimento sustentáveis, com características físicas e mecânicas adequadas ao uso.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a potencialidade do uso da fração predominantemente cimentícia de dois resíduos de construção civil (RCC) como substituinte parcial do cimento em argamassas de revestimento, considerando desempenho físico e mecânico delas.

Para que o objetivo geral possa ser alcançado, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Verificar a influência dos resíduos nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas, a partir da comparação com um traço de referência, confeccionado sem adição de resíduos;
- b) Verificar como os diferentes teores de substituição dos resíduos interferem no desempenho de uma argamassa;

1.2 Delimitações da pesquisa

A pandemia de Covid-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2, trouxe limitações para o desenvolvimento desta pesquisa, sendo necessário readequar o projeto original. As restrições sanitárias, impostas pelo contexto pandêmico, dificultaram o acesso aos laboratórios, impossibilitando a realização dos ensaios de caracterização química e o ensaio físico de granulometria por difração a laser.

1.3 Estrutura da pesquisa

A estruturação do presente trabalho foi feita em cinco distintos capítulos, apresentados a seguir:

O primeiro capítulo, já exposto, trata da apresentação do trabalho, sua introdução, hipótese, objetivo geral, objetivos específicos e delimitações da pesquisa.

No segundo capítulo apresentar-se a revisão bibliográfica dos temas discutidos por este trabalho, abordando os impactos gerados pela construção civil e o uso de resíduos de construção civil em argamassas.

Já no terceiro capítulo descreve-se os métodos e materiais que foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho.

No quarto capítulo são apresentados, analisados e discutidos os resultados obtidos.

Na sequência, o quinto capítulo trata das considerações finais e das principais conclusões do trabalho.

Por fim, expõem-se as referências bibliográficas e os apêndices do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O setor da construção civil é uma importante atividade que traz benefícios para o desenvolvimento econômico e social do país. Em contrapartida, é um setor altamente degradante, e os impactos ambientais causados podem ser observados em todas as etapas de sua cadeia produtiva (LARUCCIA, 2014).

De acordo com Valporto e Azevedo (2016), o esgotamento de jazidas pela extração de matérias-primas, a emissão de gases poluentes, o gasto de energia para extração, a fabricação e transporte dos recursos naturais e a contaminação da água por processos industriais, são alguns dos impactos ambientais causados pela construção civil.

Além dos impactos mencionados provenientes da extração e beneficiamento da matéria-prima, a construção civil também é responsável pela geração de grande quantidade de resíduos sólidos urbanos. No ano de 2019, foram coletadas no Brasil 72,7 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo que, aproximadamente 61% deste total foram resíduos provenientes da construção civil, segundo o panorama da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE.

De acordo com Silva *et al.* (2018), a substituição parcial dos materiais de construção convencionais por resíduos, sejam oriundos da construção civil ou não, reduzem a demanda por insumos não renováveis e a pressão ambiental nas áreas destinadas ao descarte desses.

As argamassas são materiais de construção amplamente utilizados na construção civil. Por consumir grande quantidade de matéria-prima natural e produzir alto teor de entulho, a incorporação de resíduos em sua composição apresenta-se como uma solução apropriada para os problemas citados. Assim sendo, os próximos tópicos deste capítulo apresentarão a definição, a classificação e os materiais constituintes das argamassas, além de abordar estudos que utilizaram resíduos na composição destas.

2.1. Argamassas

As argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregados miúdos e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais (CARASEK, 2010). Ainda de acordo com a autora, as argamassas de revestimento têm como função proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, contribuir para o isolamento térmico, isolamento acústico, estanqueidade à água, segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais.

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013), as argamassas de revestimento podem ser classificadas quanto à natureza, tipo e número de aglomerantes. Ao falarmos da natureza do ligante temos a argamassa aérea: preparada com aglomerante(s) aéreo(s), e argamassa hidráulica: confeccionada com aglomerante(s) hidráulico(s). Já em relação à natureza do aglomerante temos a argamassa de cal, argamassa de cimento, argamassa de gesso e argamassa de cimento e cal. No entanto, em relação ao número de aglomerantes, as argamassas podem ser mistas, quando preparadas com mais de um aglomerante, e simples quando confeccionada com apenas um aglomerante.

À natureza, o tipo e o número de aglomerantes irão influenciar o desempenho final das misturas. Dessa forma, é importante conhecer as características físicas e químicas dos materiais que compõem as misturas, para entender a influência deles nas propriedades no estado fresco e no estado endurecido.

2.1.1. Aglomerantes

Os aglomerantes são definidos pela norma NBR 11172 (ABNT,1990) como materiais pulverulentos que na presença de água formam uma pasta com propriedades aglutinantes. Tais materiais funcionam como elementos ativos nas pastas, promovendo a ligação entre os materiais inertes (agregados) e endurecem através de processos físico-químicos (HAGEMANN, 2011).

2.1.1.1. Cimento Portland

A NBR 16697 (ABNT, 2018) define cimento Portland como ligante hidráulico derivado da moagem de clínquer Portland, que se obtém pela queima calcinação do calcário e argila em altas temperaturas. O cimento Portland é de grande versatilidade, podendo ser empregado nas mais diversificadas obras de construção civil.

Ainda de acordo com esta norma, os cimentos Portland são designados por seu tipo, de acordo com as adições, propriedades específicas e classe de resistência. A Tabela 1 apresenta os cimentos regulamentados pela normatização brasileira.

Tabela 1 - Designação normatizada, sigla e classe do cimento Portland

Designação normatizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência
Cimento Portland Comum	Sem adição	CP I	
	Com adição	CP I-S	
Cimento Portland Composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E	
	Com material carbonático	CP II-F	25,32 ou 40
	Com material pozolânico	CP II-Z	
Cimento Portland de alto-forno		CP III	
Cimento Portland pozolânico		CP IV	
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	ARI
Cimento Portland Branco	Estrutural	CPB	25,32 ou 40
	Não estrutural	CPB	-

Fonte: Autora, adaptada da NBR 16697, ABNT 2018

Segundo Battagin (2011), o que diferencia cada um dos tipos de cimentos é a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio e de adições, como escórias, pozolanas e fíler calcário, adicionadas durante o processo de moagem. A Tabela 2 apresenta os materiais constituintes de cada um dos tipos de cimentos Portland.

Tabela 2 - Limite de proporções do cimento Portland

Designação normatizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Clinker + sulfato de cálcio (%)	Escória granulada de alto- forno (%)	Material pozolânico (%)	Material carbonático (%)
Cimento Portland Comum	Sem adição	CP I	95-100	0-5	0-5	0-5
	Com adição	CP I-S	90-94	0	0	6-10
Cimento Portland Composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E	55-94	6-34	0	0-15
	Com material carbonático	CP II-F	75-89	0	0	11-25
	Com material pozolânico	CP II-Z	75-94	0	6-14	0-15
Cimento Portland de alto-forno		CP III	25-65	35-75	0	0-10
Cimento Portland pozolânico		CP IV	45-85	0	15-50	0-10
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	90-100	0	0	0-10
Cimento Portland Branco	Estrutural	CPB	75-100	-	-	0-25
	Não estrutural	CPB	50-74	-	-	26-50

Fonte: Autora, adaptada da NBR 16697, ABNT 2018

Os cimentos CP I e CP II se destinam a aplicações gerais. No entanto, cabe destacar que por possuir maior quantidade de clínquer, o cimento comum apresenta um alto custo de fabricação. Os cimentos Portland de alto-forno e pozolânicos proporcionam maior resistência ao ataque por sulfatos e maior resistência mecânica em idades mais avançadas. Já o cimento CP V ARI possui elevada resistência inicial, com valores médios aproximados de resistência à compressão acima de 25 MPa a um dia de idade e de 50 MPa aos 28 dias (BATTAGIN, 2011).

Conforme Quarcioni (2008), o desenvolvimento de resistência mecânica de uma pasta ocorre a partir do processo de hidratação dos compósitos da mistura, especialmente do silicato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$) e silicato dicálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$).

O silicato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$), denominado na química do cimento como alita (C_3S), representa de 50 a 70% dos componentes químicos do cimento, em contato com a água reage rapidamente, sendo responsável pelo acréscimo de resistência até 28 dias. Já o silicato dicálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$), também denominado como belita, corresponde de 15 a 30% dos componentes do cimento e é responsável pelo ganho de resistência em idades mais avançadas (NAKANISHI, 2013).

2.1.1.2. Cal

A cal é aglomerante simples, resultante da decomposição, por ação da temperatura, de calcários com elevado teor de carbonato de cálcio (CaCO_3) ou de carbonato de cálcio e magnésio [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] (VINAGRE, 2015).

O carbonato de cálcio (CaCO_3) quando submetido à ação do calor, reage quimicamente dando origem ao óxido de cálcio (CaO) e anidridos carbônicos (CO_2). Para viabilizar a utilização na construção civil, o óxido de cálcio (CaO) necessita ser hidratado, transformando-se em hidróxido de cálcio [$\text{Ca}(\text{HO})_2$], também denominado de cal hidratada (BAUER, 2008).

O processo de endurecimento da cal ocorre através da carbonatação do hidróxido de cálcio [$\text{Ca}(\text{HO})_2$], que ocorre mediante a fixação do dióxido de carbono presente na atmosfera. A reação de carbonatação é muito lenta, podendo demorar de 6 meses a 1 ano. O processo de obtenção e endurecimento da cal é denominado de ciclo da cal e acontece em diferentes fases (VINAGRE, 2015).

De acordo com Quarcioni *et al.* (2009), devido a elevada área específica da cal, as misturas confeccionadas com este material necessitam de maior quantidade de água para atingir a mesma consistência que as argamassas simples de cimento. No entanto, a presença de cal hidratada em argamassa, torna as misturas mais plásticas, melhorando a fluidez e trabalhabilidade, fazendo com que as misturas sejam capazes de suportar maiores deformações sem que ocorra fissuração (VINAGRE, 2015).

2.1.2. Agregado miúdo

A NBR 9935 (ABNT, 2011) define o agregado como “material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa ou concreto”.

Os agregados podem ser classificados de acordo com a origem, dimensão das partículas e peso específico aparente. Quanto à origem, eles podem ser naturais quando se encontram particulados na natureza, e industrializados quando se obtém a formação particulada através de beneficiamento. No que se refere à dimensão das partículas, elas podem ser divididas em graúdas e miúdas. Já em relação ao peso específico aparente, eles podem ser classificados em leves, médios e pesados (BAUER, 2008).

São considerados agregados miúdos os grãos que passam pela peneira com abertura de malha de 4,5 mm e ficam retidos na peneira com abertura de 150 μ m, conforme especificação da NBR 9935 (ABNT, 2011).

De modo geral, o agregado utilizado para a confecção de argamassas é a areia natural. No entanto, também, podem ser utilizadas areias artificiais, obtidas através do beneficiamento de rochas calcárias e dolomíticas. A escolha do agregado irá influenciar o comportamento das misturas no estado fresco e endurecido, já que este representa de 60 a 80% do consumo de materiais da argamassa pronta (CARASEK, 2010).

As características dos agregados irão exercer influência nas propriedades das misturas. De acordo com os estudos de Carasek *et al.* (2016), a distribuição granulométrica e o formato das partículas interferem no empacotamento dos grãos. Conforme os autores, o melhor empacotamento granulométrico dos agregados reduz o número de vazios, o que torna a argamassa menos porosa. Dessa forma, a pasta que serviria para preencher os vazios também exerce função ligante para envolver as partículas, tornando a mistura mais fluida.

Rato (2006) destaca que a forma das partículas, além de interferir no empacotamento granulométrico, irá determinar o valor de superfície específica dos agregados. As partículas mais finas irão apresentar maior superfície específica, sendo necessário maior quantidade de água de amassamento para encobrir a superfície dos materiais.

2.2. Argamassas com resíduos

A reciclagem dos resíduos gerados em atividades industriais é fundamental para garantir a satisfação das necessidades da sociedade na qual estamos inseridos sem comprometer a capacidade de sobrevivência das gerações futuras (LUCAS e BENATTI, 2008). A incorporação desses resíduos como matéria-prima para a construção civil é uma alternativa para a minimização dos impactos no meio ambiente, e vem sendo estudada por diversos autores.

Lemes (2013) verificou a viabilidade da aplicação da cinza da casca de arroz (CCA), nas proporções de 10, 15, 20 e 30%, como substituinte parcial do cimento. Foram testados dois tipos de argamassas: argamassa de assentamento com traço 1:3 (cimento e areia) e argamassa de revestimento com traço 1:2:8 (cimento, cal e areia). A incorporação da CCA em argamassas aumentou o teor de finos da mistura, sendo necessário aumentar a quantidade de água proporcionalmente com o aumento do teor de substituição, para obter-se um mesmo índice de consistência entre os traços. O teste de resistência à tração na flexão indicou que os teores de 10 e 15% apresentaram resultados superiores ao traço de referência em ambas às argamassas. O ensaio de resistência à compressão mostrou que todos os teores de substituição apresentaram desempenhos superiores ao traço de referência, em decorrência do melhor empacotamento granulométrico e redução dos vazios das misturas. Em relação a absorção de água, o estudo apontou que o melhor desempenho foi registrado nas argamassas com teor de substituição de 15%.

Apolinário (2014) avaliou o comportamento do resíduo de corte de mármore e granito (RCMG) com partículas de 0,012 mm, adicionado às argamassas comuns de cimento Portland, mistas (cimento e cal) e industrializadas, nos teores de 5, 10 e 15%. A relação água/cimento das misturas foi mantida constante ($a/c=0,59$), e as argamassas foram analisadas no estado fresco e endurecido. Os resultados obtidos indicaram que o melhor teor de adição para as argamassas simples e mistas foi o de 10% de RCMG, pois proporcionou melhor fluidez e maior plasticidade devido a maior distância interpartículas, resultando na diminuição do atrito entre elas e favorecendo a trabalhabilidade.

Já Marques *et al.* (2014) analisaram o comportamento da substituição do agregado miúdo por resíduos de celulose, em argamassas de cimento e areia com relação água/cimento constante ($a/c=0,5$). O traço de referência foi moldado com

proporções de 1:2,3 (cimento e areia) e as substituições aconteceram com teores de 10, 20 e 30%. Os resultados indicaram um bom potencial de aproveitamento do resíduo na produção de argamassa de revestimento, podendo ser substituído com teores de até 10% em massa de agregado, sem redução do índice de consistência e perda de desempenho mecânico.

Castro e Martins (2016) analisaram o comportamento de argamassas mistas, confeccionadas com traço 1:2:9 (cimento, cal e areia), mediante a substituição do agregado miúdo por cinzas do bagaço de cana de açúcar, com dimensão de partículas que variavam de 0,06 a 0,2 mm. Foram testados os teores de substituição de 5, 10, 15 e 20%. A quantidade de água utilizada nas misturas variou para atender o índice de consistência de 260 ± 5 mm. As argamassas com resíduos em sua composição apresentaram menor teor de ar incorporado e menor coeficiente de capilaridade que a argamassa de referência, este comportamento é resultante do preenchimento dos vazios pelas partículas mais finas do resíduo. Os ensaios de resistência à compressão axial e resistência a tração na flexão indicaram a viabilidade da aplicação de teores de substituição de até 10%.

Bortoletto *et al.* (2017) avaliaram a eficiência da cinza da madeira de eucalipto (CME) como substituinte parcial do agregado miúdo em argamassas de cimento, confeccionadas com traço 1:2 (cimento e areia). Foram selecionados resíduos com granulometria de 45 μ m. Os corpos de prova foram moldados com fatores de substituição de 10, 20, 30, 40 e 50%, mantendo em todos os traços o fator água/cimento de 0,50. Os resultados mostraram acréscimo na resistência à compressão axial, para os traços com substituição de até 30% de CME. Observou-se que, a presença de resíduos nas misturas ocasionou a diminuição da fluidez e da absorção de água em virtude do aumento da superfície específica das partículas provocada pela adição de material fino nas misturas.

No estudo de Canova (2017), o autor testou a influência da substituição do cimento por finos de britagem em argamassas confeccionadas com traço 1:1,5:9 (cimento, cal e areia). Foram selecionados os resíduos passantes na peneira 0,075 mm e testados os teores de substituição de 2,5, 5, 10, 15 e 20%. O índice de consistência foi fixado em 260 ± 5 mm, e as misturas foram ensaiadas no estado fresco e endurecido. Os resultados indicaram que o uso de finos de britagem ocasionou o fechamento do pacote granulométrico, reduzindo o teor de ar incorporado e

aumentando a massa específica das misturas.

Aciu *et al.* (2018) verificaram a influência da substituição da areia por resíduos de policloreto de vinila (PVC) em argamassas mistas, confeccionadas com traço de referência 1:0,6:4,5 (cimento, cal e areia), e substituições de 25, 50 e 100%. No preparo da argamassa foram utilizados resíduos com partículas de tamanho máximo de 8 mm, e a quantidade de água variou para atingir o índice de consistência de 175 ± 10 mm. Foram realizados ensaios de densidade aparente, resistência à compressão axial, resistência à flexão, absorção por capilaridade, condutividade térmica e aderência ao substrato. Os resultados demonstraram a viabilidade da utilização do resíduo de PVC, sendo que, o teor que apresentou melhor desempenho foi o de 25% de substituição.

Kurz *et al.* (2018) avaliaram o comportamento de argamassas de cimento e areia, moldadas com traço 1:3, mediante a substituição do agregado miúdo por resíduos de borracha nas proporções de 2,5; 5; 10 e 15%. Areia e borracha foram separadas em quatro frações, sendo elas passantes nas peneiras granulométricas: 2,00; 1,18; 0,600; 0,300 mm. A quantidade de água entre as misturas variou para atender o índice de consistência de 255 ± 10 mm. Os ensaios mostraram que a incorporação da borracha na mistura ocasionou redução na resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral. Este evento possivelmente esteja ligado ao fato da borracha ser um material com menor resistência do que a areia, e/ou pelo maior consumo de água para manter a trabalhabilidade. As argamassas com resíduos apresentaram menores índices de absorção por capilaridade e maior absorção por imersão, comparadas ao traço de referência.

Lopes *et al.* (2018) avaliaram os efeitos da substituição parcial do cimento por resíduo de vidro moído, com percentuais de 10, 20, 30 e 40%, em argamassas confeccionadas com traço 1:2 (cimento e areia) e fator água/cimento de 0,50. Foram realizados ensaios para avaliar a resistência mecânica à compressão e a atividade pozolânica. O ensaio de resistência à compressão mostrou que a utilização do resíduo de vidro melhorou a resistência à compressão das argamassas, devido ao efeito pozolânico do vidro moído.

No estudo de Bigotto *et al.* (2019), os autores confeccionaram argamassas com agregados reciclados de PET, com teores de substituição de 5, 10 e 15% no traço 1:0,1:2 (cimento, microsilica e areia) e fator água/cimento de 0,5. Os ensaios de resistência à compressão axial e tração na compressão diametral mostraram que o

acrécimo de resíduos na mistura reduziu proporcionalmente a resistência mecânica delas. Um estudo similar foi realizado por Spósito (2020), para analisar as propriedades físicas das argamassas de revestimento com traço 1:1:5 (cimento, cal e areia) e fator água/cimento de 1,94. Nele, o autor substituiu a areia por resíduos em proporções de 2,5; 5; 10; 15 e 20%. Verificou-se que a incorporação dos resíduos proporcionou a redução da densidade de massa, resultando em uma argamassa mais leve, com maior presença de poros e maior teor de absorção por capilaridade. Segundo o autor, o acréscimo de poros na mistura está relacionado com o formato plano das partículas do resíduo, que conduz a mudança do empacotamento dos materiais.

Scherer (2019) investigou o comportamento da substituição parcial do agregado miúdo por vidro moído, em argamassas produzidas com traço de 1:4 (cimento e areia), nos teores de 5, 10, 15 e 20%. A quantidade de água de cada traço foi determinada experimentalmente até atingir o índice de consistência de 250 ± 10 mm. A presença dos finos do pó de vidro diminuiu a trabalhabilidade das argamassas, sendo necessário aumentar a quantidade de água para manter o mesmo índice de consistência entre os traços. Observou-se que a presença de resíduos nas misturas reduziu os teores de absorção por capilaridade e absorção pelo método de cachimbo, possivelmente ocasionado pela redução do tamanho dos poros provocada pela utilização dos resíduos. O ensaio de resistência à compressão demonstrou que as misturas alternativas apresentaram menor desempenho. O autor associou este fato a relação água/cimento, uma vez que a argamassa com maior desempenho foi aquela que necessitou menor quantidade de água para atingir o índice de consistência estipulado.

Pinz (2019) estudou o efeito da substituição do cimento e do agregado por resíduos de cerâmica vermelha (RCV) em dois tipos de argamassas, hidráulica e mista, executados com traço 1:6 (cimento e areia) e 1:2:8 (cimento, cal e areia), respectivamente. Ambos os traços foram confeccionados com índice de consistência de 260 ± 10 mm, variando o consumo de água para atingir este parâmetro. Foram testados os teores de substituição de 5, 10 e 15% do aglomerante, e de 10, 15 e 20% do agregado. Para as substituições do aglomerante foram selecionados os resíduos que passaram pela peneira 0,15 mm e que ficaram retidos na peneira 45 μ m. Já as substituições no agregado, foram utilizados os resíduos retidos nas peneiras 0,15 mm, 0,3 mm, 0,6 mm e 1,18 mm.

No estudo supracitado, as argamassas foram avaliadas quanto ao desempenho mecânico e físico. Os resultados mostraram melhoramento da resistência mecânica das argamassas hidráulicas com substituição do aglomerante nos teores de 5 e 15%. No entanto, pelo fato de o resíduo de cerâmica vermelha ser um material com porosidade mais elevada que a areia, houve acréscimo no índice de vazios das misturas, implicando na redução do desempenho mecânico. O mesmo comportamento foi observado nas argamassas mistas, onde as substituições no agregado proporcionaram redução na resistência mecânicas e acréscimo nos índices de absorção por imersão.

Da mesma forma, Samadi *et al.* (2020) avaliaram os efeitos da substituição parcial do cimento e dos agregados finos por resíduos de revestimento cerâmicos. Os teores de substituição do cimento variaram de 10 a 60%, com intervalo de substituição de 10% entre os traços. Já a substituição dos agregados finos aconteceu nos teores de 25, 50, 75 e 100%. As misturas foram confeccionadas com relação água/cimento de 0,48. Os resultados mostraram que embora as argamassas com resíduos tenham apresentado desempenho inicial inferior aos da argamassa de referência, aos 28 dias, os traços com 20 e 40% de substituição do cimento demonstraram resistência superior, devido ao melhor preenchimento dos microporos e a alta atividade pozolânica do resíduo.

2.2.1. Argamassas com resíduos de construção civil (RCC)

A reutilização dos resíduos de construção civil (RCC) é uma alternativa para economizar os recursos naturais utilizados como matéria-prima na construção civil, além de reduzir o volume final de resíduos a serem descartados (LIMA e CABRAL, 2013).

Alguns autores vêm desenvolvendo estudos utilizando os resíduos de construção civil incorporados em argamassas. Dessa forma, na Tabela 3, apresentam-se alguns dos estudos utilizando os resíduos de construção civil como agregados em argamassas.

Tabela 3 - Estudos referentes à argamassa com substituição do agregado por RCC

(continua)

Autor	Características	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Paula (2010)	Cimento CP II Z 32 RCD misto com partículas < 2,36 mm Traço 1:6 a/c=0,60	25, 50, 75 e 100%	Absorção e Compressão.	O estudo concluiu que os teores de substituição não afetam as resistências mecânicas. Observou-se que quanto maior o teor de substituição dos agregados, maior a absorção dos blocos.
Paula (2010)	Cimento CP II Z 32 RCD misto com partículas < 2,36 mm Traço 1:6 a/c=0,60	25, 50, 75 e 100%	Absorção e Compressão.	O estudo concluiu que os teores de substituição não afetam as resistências mecânicas. Observou-se que quanto maior o teor de substituição dos agregados, maior a absorção dos blocos.
Kim e Choi (2012)	Cimento Comum Traço 1:2,45 a/c= 0,55	15,30 e 45%	Cisalhamento compressão e absorção por capilaridade.	Os ensaios mostraram que a substituição do resíduo reduziu a resistência ao cisalhamento e à compressão das argamassas. Em relação à absorção por capilaridade das argamassas, observou-se um acréscimo proporcional ao teor de resíduo incorporado.
Jochem (2012)	Cimento CP II F 32 RCD misto com partículas < 0,15 mm Traço 1:7,5	7, 13, 20, 27, 33 e 40%	Influência da molhagem prévia do agregado, absorção por imersão e porosidade, absorção por capilaridade, permeabilidade de ao vapor, compressão, tração na flexão, módulo de elasticidade e aderência à tração.	Os ensaios mostraram que os traços confeccionados com material de curva granulométrica média apresentaram os melhores resultados. Os agregados reciclados apresentam maior teor de absorção, independente de sua granulometria. A molhagem prévia dos agregados finos propicia o acréscimo do teor de ar incorporado e retenção de água. Em relação à resistência mecânica, a molhagem prévia dos agregados reciclados, aumentou a resistência à tração e a resistência à compressão.

Tabela 3 - Estudos referentes à argamassa com substituição do agregado por RCC

(continuação)

Autor	Características	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Araújo (2014)	Cimento CP II Z 32 RS Partículas entre 1,2 e 2,4 mm Traço 1:8 e 1:2:8 IC= 260 ± 5 mm	20, 40, 60, 80 e 100%	Densidade de massa, módulo de elasticidade, compressão, tração na flexão, absorção por capilaridade, absorção por imersão e índice de vazios.	As argamassas com agregados reciclados apresentaram valores menores de densidade de massa e módulo de elasticidade dinâmico, assim como um incremento nos índices de absorção e porosidade. Em relação ao desempenho mecânico, observou-se que as argamassas hidráulicas apresentaram resistência superior ao traço de referência. Já as argamassas mistas demonstraram redução nessa propriedade.
Morales (2015)	Cimento CP II F 32 Partículas de RCD < 4,8 mm Traço 1:1:5,1 a/c=1,25	20%	Influência da molhagem, compressão, tração na flexão, módulo de elasticidade dinâmico, retração por secagem, perda de água por evaporação, fissuração, absorção por capilaridade, absorção por imersão, índice de vazios e aderência.	Constatou-se que a molhagem prévia do agregado influenciou na melhora das propriedades mecânicas. Observaram-se reduções na absorção por capilaridade, no índice de vazios e na absorção por imersão. Verificou-se aumento do efeito de retração por secagem e redução da aderência no substrato.
Ferreira <i>et al.</i> (2016)	Cimento CP II-Z-RS Traço 1:1:6 IC=260 mm	70, 90 e 100%	Consistência, densidade de massa, teor de ar incorporado, absorção por imersão e capilaridade, densidade de massa, compressão e tração na flexão.	A partir dos resultados, foi possível inferir que as substituições estudadas obtiveram desempenhos aceitáveis em comparação aos parâmetros determinados em norma para utilização como argamassa de revestimento, sendo a substituição de 70% a que apresentou melhor desempenho mecânico, porém absorve mais água por capilaridade em função do elevado teor de finos.

Tabela 3 - Estudos referentes à argamassa com substituição do agregado por RCC

(continuação)

Autor	Características	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Monte Junior (2016)	Cimento CP II Z 32 RCC cimentício Partículas < 4,75 mm Traços 1:2:8 e 1:4,5 Relação ligante/agregado (1/3) em volume	30, 60 e 100%	Consistência, compressão, tração, absorção por imersão, absorção por capilaridade, densidade de massa aparente, resistência de aderência, absorção pelo método de cachimbo, fissuras visíveis.	A presença de finos melhorou a trabalhabilidade em ambos os traços e reduziu a densidade de massa aparente. Em relação à resistência mecânica, verificou-se que as substituições não afetaram o desempenho das misturas. Observou-se que a absorção pelo método do cachimbo apresentou acréscimo no teor de absorção proporcional ao teor de substituição. Em relação à absorção por capilaridade, ambas as argamassas apresentaram melhor desempenho para o teor de substituição de 30%.
Martínez <i>et al.</i> (2016)	Cimento CEM 11 / B - L 32.5 N e CEM IV / B (V) 32,5 N RCC misto com partículas < 0,6 mm Traços 1:3 e 1:4 IC=175 ±10 mm	50, 75 e 100%	Densidade de massa úmida, absorção por capilaridade, resistência à flexão e compressão utilizando três tipos de resíduos de construção (cerâmico, mistos e cimentício) e dois tipos de cimentos CEM II/B e CEM IV/B.	Na absorção por capilaridade, verificou-se que o teor de absorção aumentou proporcionalmente ao teor de resíduo na mistura. Os resultados de resistência à flexão indicaram redução mediante o acréscimo de resíduos na composição. Já em relação à compressão, os ensaios mostraram que as argamassas confeccionadas com traço 1:3 apresentaram melhor desempenho comparado ao traço 1:4. Em ambos os traços constataram-se que o melhor índice de desempenho foi obtido pelas argamassas produzidas com o resíduo cimentício e com cimento CEM IV/B em sua composição.
Ferreira (2017)	Cimento CP II Z RS RCC misto com partículas < 4,75 mm Traço 1:1:6 IC=260 mm	25, 50, 75 e 100%	Compressão, tração na flexão, aderência e fissuração	As argamassas alternativas apresentaram maior consumo de água, menor densidade de massa e teor de ar incorporado. Na resistência mecânica as argamassas com resíduos apresentaram maior resistência. Observou-se redução no desempenho da aderência ao substrato e acréscimo de fissuras.

Tabela 3 - Estudos referentes à argamassa com substituição do agregado por RCC

(continuação)

Autor	Características	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Carasek <i>et al.</i> (2018)	Cimento CP II Z-32 RS RCC misto e RCC cimentício com partículas < 3,15 mm Traço 1:5,8 relação água/materiais secos em (22,5±2,5)%	100%	Densidade de massa, retração, resistência à compressão e à tração na flexão.	Os resultados mostraram que as argamassas com resíduos apresentaram redução na densidade de massa e acréscimo na retração. Em relação à resistência mecânica observou-se que as misturas com resíduos reciclados, apresentaram resultados ligeiramente inferiores.
Aguiar <i>et al.</i> (2018)	Cimento CII E 32 Traço 1:2:8 IC=260 ± 5 mm	25 e 50%	Tração na flexão, compressão axial e coeficiente de capilaridade.	Os resultados indicaram pequeno ganho de resistência à tração e à compressão com a incorporação do resíduo (RCC) em substituição à areia. No que diz respeito a absorção por capilaridade, o menor índice de absorção foi com substituição de 25% da areia por agregado miúdo.
Andrade <i>et al.</i> (2018)	Cimento CP IV RCC misto e RCC cerâmico com partículas < 4,75 mm Traço 1:5 IC=260 ± 5 mm	25, 50, 75 e 100%	Compressão, flexão, aderência, porosidade, absorção de água, densidade aparente e carbonatação	Os resultados mostraram redução nas propriedades mecânicas e aumento na profundidade de carbonatação. A porosidade e a absorção de água das argamassas aumentaram proporcionalmente ao teor de resíduo incorporado na mistura. Já densidade de massa apresentou comportamento contrário.
Pimentel <i>et al.</i> (2018)	Cimento CP III Partículas <2,4 mm Traços 1:6,1 e 1:2:5,9 IC=260 ± 5 mm	30 e 60%	Compressão, tração na flexão, absorção por capilaridade, densidade de massa aparente.	Os resultados mostraram acréscimo na capacidade de retenção de água e redução nas propriedades mecânicas proporcionais ao aumento do teor de agregado reciclado. Em relação à absorção por capilaridade, verificou-se que houve redução deste coeficiente entre as argamassas hidráulicas. Já as argamassas mistas demonstraram comportamento contrário.

Tabela 3 - Estudos referentes à argamassa com substituição do agregado por RCC

(continuação)

Autor	Características	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Rocha (2018)	Cimento CP II E 32 RCC misto com partículas <2,4 mm Traço 1:2:9 IC=260 ± 5 mm	50 e 100%	Tração na flexão e compressão.	Os ensaios demonstraram que às substituições ocasionaram melhoramento nas propriedades mecânicas estudadas.
Jesus <i>et al.</i> (2019)	Cimento CEM II/ B-L RCC misto com partículas < 0,15 mm Traço 1:5,7 IC=160 ± 3 mm	10, 15 e 20% (Resíduo misto e cimentício)	Compressão, flexão, aderência à tração, módulo de elasticidade, comportamento de fissuras, durabilidade e absorção por capilaridade.	A incorporação dos resíduos melhorou o desempenho mecânico e o módulo de elasticidade das argamassas. Houve redução da porosidade e do coeficiente de absorção. Observou-se que apenas o traço com substituição de 20% do resíduo cimentício apresentou fissuração.
Ghellere <i>et al.</i> (2019)	Cimento CP II Z 32 RCC cerâmico e cimentício Traço 1:2:8 a/c = 2,25 a 2,45	15, 25 e 50%	Tração na flexão, compressão, aderência à tração, módulo de elasticidade, absorção por capilaridade e exposição às altas temperaturas.	O estudo mostrou que as argamassas apresentaram melhor desempenho à tração na flexão e compressão. No entanto, houve redução da aderência à tração proporcional ao teor de substituição. As argamassas com resíduos apresentaram módulo de elasticidade mais elevado, maior teor de absorção por capilaridade e tiveram menor influência da temperatura em seu desempenho.
Azevedo <i>et al.</i> 2020	Cimento CP II E 32 Partículas < 4,8 mm Traço 1:1:6 IC=260 ± 5 mm	25, 50 e 100%	Compressão e absorção por capilaridade.	O estudo mostrou que a substituição da areia por resíduo proporcionou melhor desempenho mecânico. Observou-se que quanto maior o teor de substituição dos agregados, maior a absorção por capilaridade das argamassas.

Tabela 3 - Estudos referentes à argamassa com substituição do agregado por RCC

(conclusão)

Autor	Características	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Kruger <i>et al.</i> (2020)	Cimento CP II F 32 RCC misto com partículas < 4,8 mm Traço 1:3	12, 20 e 30%	Índice de constência, densidade de massa, compressão e absorção.	Os resultados mostraram que a adição de finos reduziu a trabalhabilidade das misturas, diminuiu a densidade de massa e elevou o teor de ar incorporado. Além disso, a incorporação de finos aumentou a absorção e reduziu a resistência à compressão das argamassas.
Souza e Leite (2020)	Cimento CP II Z 32 RCC misto Traço 1:4 IC=260 ± 5 mm	15 e 30%	Índice de constência, densidade de massa, teor de ar incorporado, retenção de água, compressão e tração na flexão	Os resultados mostraram que a incorporação do resíduo reduziu a trabalhabilidade e a densidade de massa, aumentando o teor de ar incorporado e a retenção de água. Em relação ao desempenho mecânico, observa-se que os traços sem adição de água para manter a trabalhabilidade com resíduos apresentaram acréscimo de resistência em relação ao traço de referência.

Fonte: Autora

Outra possibilidade para a reciclagem dos resíduos de construção civil é incorporá-los como substituintes parciais de aglomerantes em argamassas. Desta forma, na Tabela 4 serão apresentados alguns estudos utilizando resíduos como substituintes parciais dos aglomerantes em argamassas.

Tabela 4 - Estudos referentes à argamassa com substituição do aglomerante por RCC

(continua)

Autor	Características	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Menezes <i>et al.</i> (2009)	Resíduo serragem de granito e RCC cerâmico com partículas < 0,074 mm Traço 1:3 a/c=0,48	25, 35 e 50%	Índice de atividade pozolânica, compressão.	Os ensaios verificaram que o resíduo utilizado não apresenta atividade pozolânica. Em relação ao comportamento mecânico, os resultados mostraram que as argamassas com 25% de substituição apresentaram o mesmo desempenho que a argamassa de referência, e as argamassas com substituição de 35 e 50% aumentaram significativamente a resistência aos 28 dias.
Hongzheng (2012)	Resíduo de concreto e pó de calcário com partículas < 75 µm Traço 1:3	100%	Difração de raio X, compressão.	A difração de raio X mostrou que o cimento reciclado apresenta uma quantidade maior de cálcio e óxido de magnésio comparado ao cimento industrial. O ensaio de resistência mecânica das argamassas produzidas com cimento reciclado apresentaram valores de 12,1 MPa e 38,2 MPa, para as idades de 3 e 28 dias, respectivamente.
Pereira (2015)	Cimento CEM I 42,5 R Resíduo cerâmico e cimentício com 90% das partículas < 16,34 µm Traço 1:3 a/c=0,5	5 e 10%	Trabalhabilidade, compressão, tração na flexão, carbonatação, absorção por capilaridade e penetração de cloretos.	O estudo mostrou que a incorporação dos resíduos proporcionou melhor trabalhabilidade e um ligeiro aumento da profundidade de carbonatação. Já o ensaio de penetração de cloretos indicou que as argamassas com substituição apresentaram maior resistência à penetração. Além disso, observou-se um pequeno acréscimo nas propriedades mecânicas das argamassas com resíduos.

Tabela 4 - Estudos referentes à argamassa com substituição do aglomerante por RCC

(continuação)

Autor	Características	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Alonso (2016)	Cimento CEM I 42,5 R RCC misto com partículas médias < 7,19 µm Traço 1:3 a/c=0,28	5 e 10%	Trabalhabilidade, resistência, compressão e flexão, absorção por capilaridade.	Neste estudo verificou-se que a substituição do cimento por resíduo não influenciou na trabalhabilidade das argamassas. No entanto, os teores de substituição influenciaram na resistência de compressão, onde os valores foram inferiores aos das argamassas de referência. No que diz respeito à absorção por capilaridade, observou-se que todas as argamassas apresentaram comportamento semelhante.
Rocha (2016)	Cimento CEM I 42,5 R RCC misto com 90% das partículas < 30 µm Traço 1:3 a/c=0,28	5 e 10%	Índice de consistência, resistência à compressão, flexão, carbonatação acelerada, absorção por capilaridade e penetração acelerada de cloretos.	As argamassas com substituição apresentaram melhor trabalhabilidade. Verificou-se uma redução na resistência mecânica das argamassas com substituição por resíduo, principalmente na resistência inicial das mesmas. Constatou-se também que o teor de substituição dos resíduos influenciou na absorção por capilaridade das argamassas. Quanto à penetração de cloretos não houve diferenças significativas entre as argamassas de referência e as argamassas com 5% de substituição.
Silva (2016)	Cimento CEM I 42,5 R RCC misto com partículas médias < 7,13 µm Traço 1:3	5 e 10%	Ensaio de trabalhabilidade, resistência à compressão, resistência à tração, resistividade, reação alcali-silica, resistência ao ataque por sulfatos, penetração de cloretos e carbonatação acelerada.	Os ensaios mostraram que as argamassas com teor de substituição de 10% apresentaram maior trabalhabilidade comparado ao traço de referência. Os resultados de resistência à flexão e compressão das argamassas com resíduos foram ligeiramente inferiores ao traço de referência e quando comparados os dois teores de substituição, o traço de 10% apresentou melhor desempenho.

Tabela 4 - Estudos referentes à argamassa com substituição do aglomerante por RCC

(conclusão)

Autor	Características	% da substituição	Parâmetros testados	Resultados
Wizchrowska <i>et al.</i> (2019)	Cimento CEM I 42,5 R Resíduo com partículas < 250 µm Traço 1:3 a/c=0,5	25%	Índice de consistência, resistência à compressão, resistência à flexão e absorção.	Verificou-se que as argamassas com resíduos apresentaram menor índice de consistência, no entanto, manteve-se a trabalhabilidade realizando mais tempo de mistura, sem ser necessário adicionar água. Os ensaios de resistência à compressão indicaram que as temperaturas de calcinação mais elevadas, acima de 650 °C (tratamento realizado para remover a reatividade antiga dos resíduos) apresentaram melhor desempenho, alcançando resistência de até 30MPa. O mesmo foi evidenciado para a resistência à flexão das argamassas e capacidade de absorção.
Formigoni <i>et al.</i> (2019)	Cimento CP IV 32 Resíduo de placas cerâmicas esmaltadas de corpo vermelho com partículas < 100 µm Traço 1:0,25:5,5 a/aglom=0,88	5, 12 e 20%	Índices de consistência, absorção da água, índice de vazios, massa específica, resistências à tração na flexão e resistência à compressão axial.	Os autores verificaram que os teores de substituição de 5 e 12% ocasionaram diminuição da porosidade dos corpos de prova. Eles também observaram que as argamassas com resíduos apresentaram melhores rendimentos na resistência à tração na flexão. Entretanto, os testes de resistência à compressão axial apresentaram um decréscimo de 0,9% e 2,5% para as substituições de 5 e 12%.

Fonte: Autora

Ainda são poucos os estudos utilizando resíduos cimentícios como componentes de argamassas, principalmente quando se trata da utilização deles como substituintes dos aglomerantes. Sendo assim, a elaboração desta pesquisa foi muito importante, pois possibilitou a análise da influência da aplicação de resíduos cimentícios como substituinte de cimento em argamassas, bem como comparar o comportamento deles com os de outros resíduos.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo trata da metodologia e apresenta os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho. A Figura 1 ilustra o delineamento das etapas desenvolvidas.

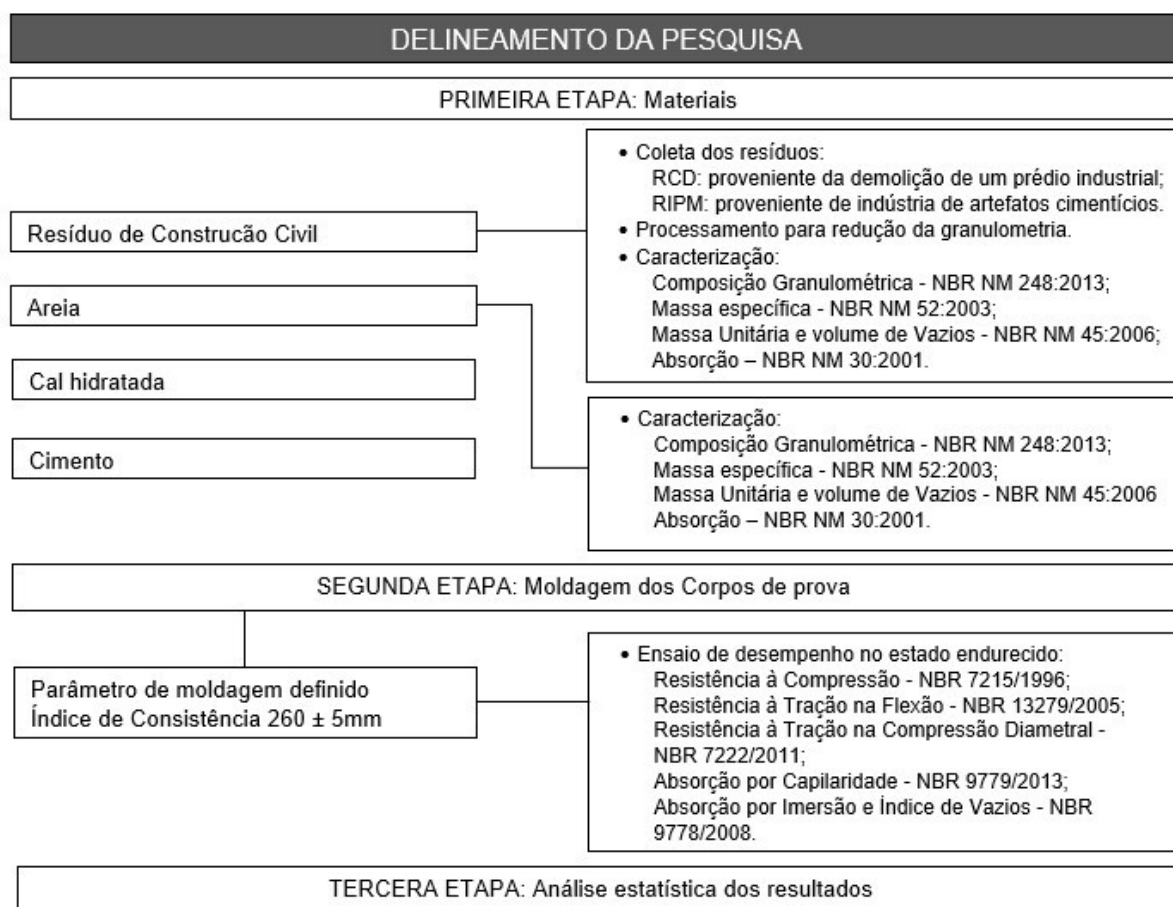


Figura 1 - Delineamento da Pesquisa

Fonte: Autora

3.1 Materiais

3.1.1 Resíduo de Construção Civil

Os resíduos de construção civil utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa foram coletados em dois locais distintos na cidade de Pelotas/RS. O primeiro material oriundo da demolição de um prédio industrial, confeccionado com alvenaria de tijolos cerâmicos e revestido com argamassa, localizado na rua Prof. Dr. Araújo nº 1612, no bairro centro, conforme apresentado na Figura 2.



Figura 2 - Local de coleta do RCD

Fonte: Google Maps.

Disponível em: < <https://goo.gl/maps/ipf7N9hy84Xo8qaP7>>. Acesso em: 13 de maio de 2021.

O segundo material foi coletado em uma Indústria de Artefatos de Cimento, localizada na Av. Zeferino Costa, nº 4995, no bairro Três Vendas, conforme ilustração da Figura 3. A referida empresa produz elementos de concreto como tubos para drenagem, meio-fio, boca de lobo e blocos de concreto para pavimentação.



Figura 3 - Local de coleta do RIPM

Fonte: Google Maps

Disponível em: < <https://goo.gl/maps/fUQssTPxWYb9tX126> >. Acesso em: 13 de maio de 2021.

A coleta em dois locais diferentes teve como objetivo comparar o comportamento das argamassas mediante a aplicação de resíduos provenientes de fontes distintas, considerando que no RIPM (proveniente da indústria) tem-se controle da qualidade dos concretos utilizados e também conhecimento da composição do resíduo gerado, o que difere do resíduo coletado em uma obra de demolição. Para a coleta de ambos os resíduos se seguiu as recomendações da NBR 10007 (ABNT, 2015).

O primeiro resíduo coletado (RCD) apresentava característica mista, com fragmentos de material cerâmico, concreto, argamassa, madeira e aço (Figura 4a). No ambiente de laboratório, foi realizada uma seleção prévia visual, separando apenas os fragmentos de concreto e de argamassa. O segundo resíduo era composto apenas de materiais cimentícios, proveniente de blocos de concreto que se quebraram e/ou não passaram no controle de qualidade no ambiente de fábrica. A Figura 4b ilustra os blocos de concreto que deram origem a este resíduo.



Figura 4: (a) RCD no ambiente de coleta (b) RIPM no ambiente industrial
Fonte: Autora

Após a coleta dos resíduos e, no caso do RCD, seleção dos fragmentos de concreto e argamassa, foi feita a redução do tamanho das partículas em um triturador de passagem com mandíbulas verticais (MARCONI, modelo MA 2015), ilustrado na Figura 5.



Figura 5 - Triturador de mandíbula
Fonte: Autora

Após a redução das partículas, os resíduos passaram por ensaios de caracterização a fim de conhecer suas propriedades físicas. Tanto o beneficiamento dos resíduos quanto os ensaios de caracterização foram realizados no Laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

O ensaio para determinação da composição granulométrica foi realizado conforme descrito na NBR NM 248 (ABNT, 2003), e os resultados estão ilustrados no gráfico apresentado na Figura 6.

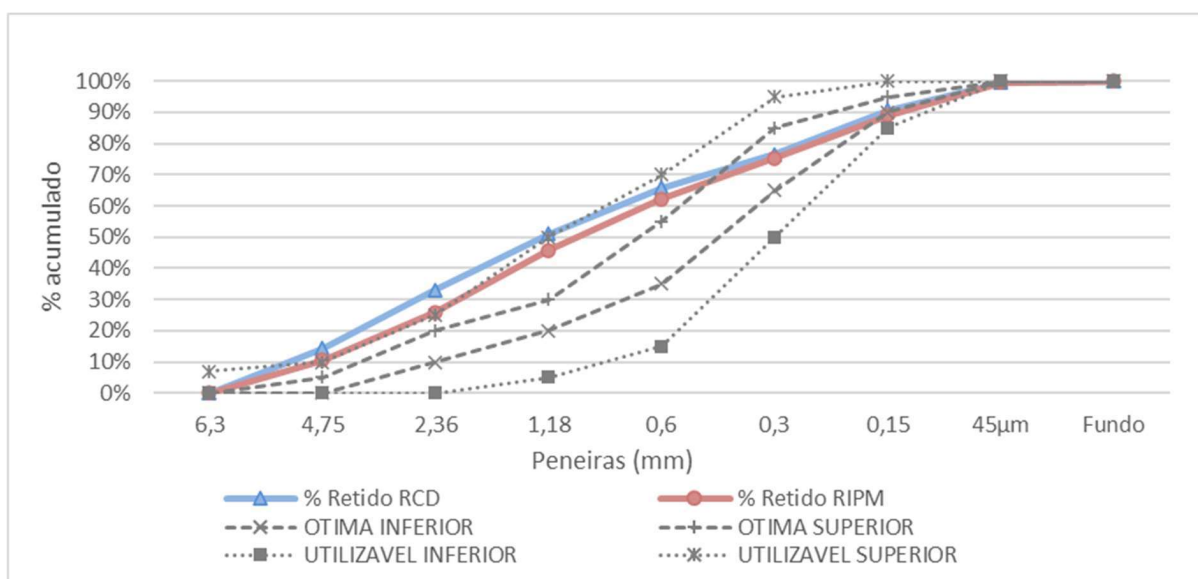


Figura 6 -Curva granulométrica dos resíduos
Fonte: Autora

Observa-se, na Figura 6, que os dois resíduos apresentam curvas granulométricas similares e módulos de finura de 3,32 para o RCD e 3,09 para o RIPM, os quais representam uma diferença da ordem de 7% entre eles. Analisando a curva do RCD, nota-se que as frações retidas nas peneiras 1,18; 2,36 e 4,75 mm apresentaram percentuais superiores da zona utilizável superior. No entanto, evidencia-se que foram selecionados apenas os materiais que passaram na peneira 0,15 mm e ficaram retidos na peneira 45 µm.

O resultado dos demais parâmetros físicos ensaiados podem ser consultados na Tabela 5.

Tabela 5 - Características físicas dos resíduos

PARÂMETROS FÍSICOS	RCD	RIPM
Massa específica (g/cm ³) - NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,51 g/cm ³	2,33 g/cm ³
Massa unitária solta (g/cm ³) - NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,46 g/cm ³	1,56 g/cm ³
Índice de volume de vazios (%) - NBR NM 45 (ABNT, 2006)	30,5%	25,4%
Absorção (%) - NBR NM 30 (ABNT, 2001)	8%	4,7%

Fonte: autora.

Observa-se na Tabela 5, que os valores de massa específica e índice de vazios de ambos os resíduos são próximos, e o percentual de absorção do RCD apresentou-se mais elevado que do RIPM.

3.1.2 Areia

A areia utilizada neste estudo foi a média quartzosa lavada, com módulo de finura de 2,79, comercialmente disponível na região. O agregado passou pelos mesmos ensaios de caracterização que os resíduos, sendo sua curva granulométrica ilustrada na Figura 7.

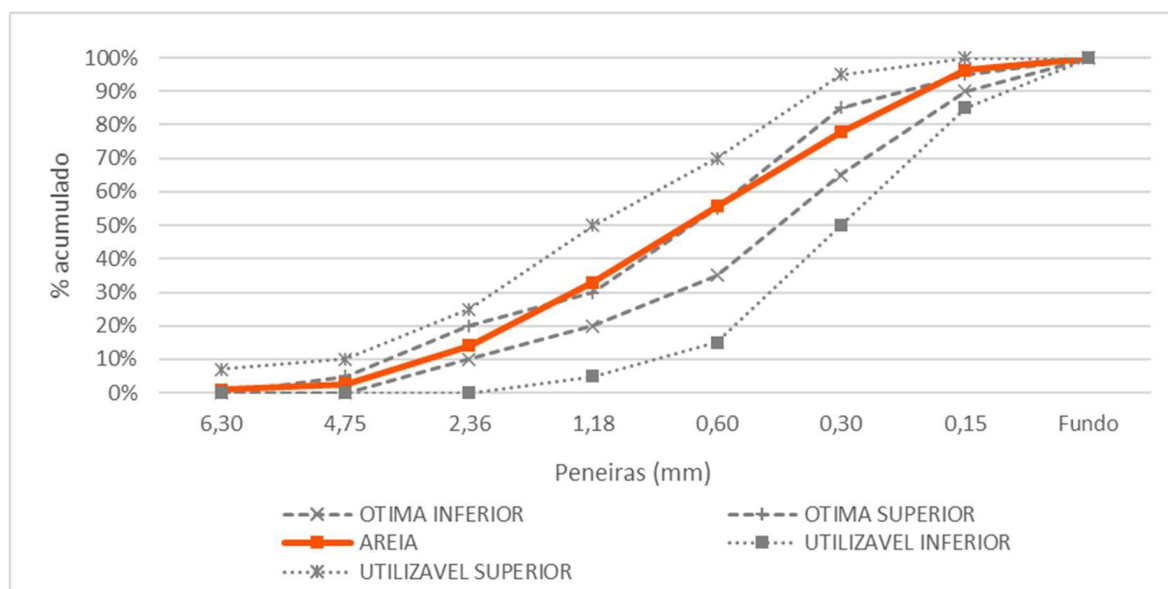


Figura 7 - Curva Granulométrica areia

Fonte: Autora

A curva granulométrica da areia utilizada neste trabalho encontra-se na maior parte dentro da zona considerada ótima para o agregado miúdo, com exceção do material retido na peneira 1,18 mm, que se apresenta levemente maior que o desejado. No entanto, a massa retida na peneira 1,18 mm encontra-se dentro do limite utilizável estipulado pela norma NBR 7211 (ABNT, 2009).

A Tabela 6 apresenta os demais parâmetros determinados para a areia.

Tabela 6 - Características físicas da areia

PARÂMETROS FÍSICOS	AREIA
Massa específica (g/cm ³) - NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2,41 g/cm ³
Massa unitária solta (g/cm ³) - NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1,49 g/cm ³
Índice de volume de vazios (%) - NBR NM 45 (ABNT, 2006)	31,24%
Absorção (%) - NBR NM 30 (ABNT, 2001)	0,61%

Fonte: autora.

3.1.3 Cimento Portland

O cimento escolhido para o desenvolvimento desta pesquisa foi o Cimento Portland CP IV 32. Esta escolha foi realizada tendo em vista que é o produto com maior facilidade de ser encontrado na região sul do Rio Grande do Sul e sendo comumente usado em obras desta região. As características físicas, mecânicas e químicas do cimento podem ser verificados na Tabela 7.

Tabela 7 - Características físicas, mecânicas e químicas do cimento

Características	Tipo de ensaio		Resultados
Físicas e Mecânicas	Massa específica (g/cm³)		2,77
	# 200		0,6
	Finura (%)		2,8
	# 325		2,8
	Blaine (cm²/g)		4252
	Tempo de Pega (min)	Início de Pega	286,8
		Fim de Pega	355
	Resistência à compressão (MPa)	3 dias	20,2
		7 dias	24,80
		28 dias	39,00
Químicas	Resíduo Insolúvel (%)		36,2
	Perda ao Fogo (%)		2,90
	SO ₃		1,90
	MgO (%)		4,80

Fonte: Votorantim Cimentos, 2020.

3.1.4 Cal hidratada

A cal escolhida para a confecção das argamassas foi a hidratada. A praticidade por ser desnecessária a queima faz com que esse produto seja amplamente utilizado nos canteiros de obra. As características físicas e químicas da cal hidratada podem ser verificadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Características físicas e químicas da cal hidratada.

Resultado da análise		
Química	Análise (%)	
Óxidos Totais	≤ 88	
Óxidos não hidratados	≤ 15	
CaO – Óxido de Cálcio	43,06	
MgO – Óxido de Magnésio	26,63	
R I – Resíduos Insolúveis	8,07	
P F – Perda ao Fogo	22,11	
Umidade	0,66	
Densidade (g/l)	538	
Física	Análise (%)	
	Limites	Análises
Peneira 0,6mm	0,50	0,00
Peneira 0,075mm	15	9,67

Fonte: Dagoberto Barcellos, 2020.

3.1.5 Água

A água utilizada para a mistura da argamassa foi proveniente da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN, companhia que fornece água para a cidade de Jaguarão/RS. A água foi coletada diretamente do ponto de consumo no laboratório, em temperatura ambiente.

3.2 Programa experimental

O programa experimental deste trabalho é uma continuação dos estudos do uso de resíduos em argamassas realizado pelo grupo de pesquisa da linha de Tecnologia e Conservação do Ambiente Construído. Desta forma, a definição dos traços para a moldagem dos corpos de prova levou em consideração o estudo de Pinz (2019), em que a autora realizou a substituição do cimento por resíduo de cerâmica vermelha com teores de 5, 10 e 15%, empregando como traço de referência a proporção em massa de 1:2:8 (cimento, cal e areia). Sendo assim, esse estudo considerou o mesmo traço e teores de substituição.

Definidas estas substituições, o programa experimental resultou, então, em sete traços diferentes, como indicado na figura abaixo (Figura 8):

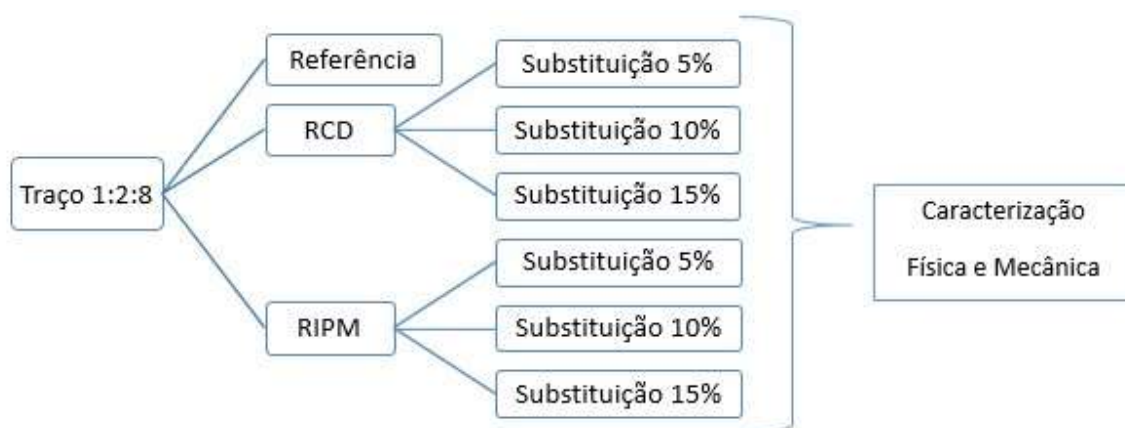


Figura 8 - Traços executados no programa experimental
Fonte: Autora

Com o auxílio de uma balança de precisão (MARTE AD5002) e considerando o teor de substituição de cada traço, conforme indicado na Figura 8, realizou-se a

substituição em massa do cimento por cada um dos resíduos, mantendo constante a massa de cal entre os traços estudados. A Figura 9 ilustra as substituições realizadas.

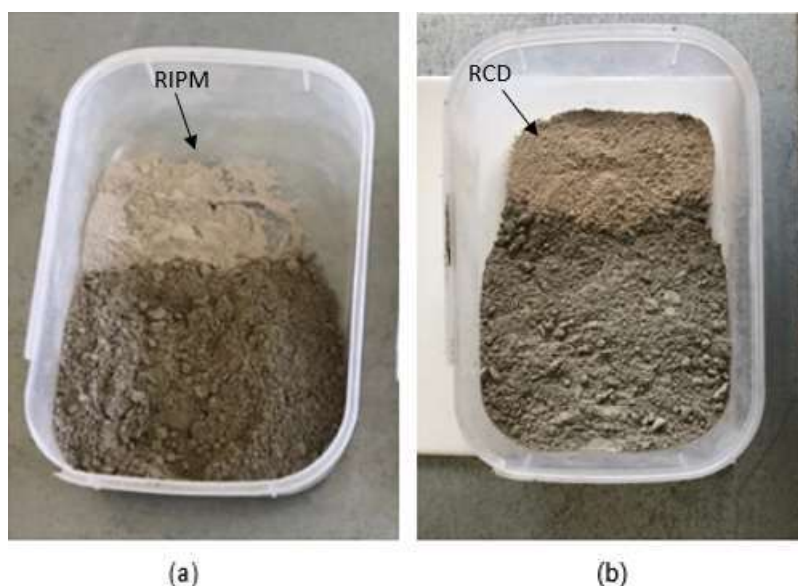


Figura 9 - (a) Substituição do cimento por RIPM (b) Substituição do cimento por RCD
Fonte: Autora

3.2.1 Moldagem dos corpos de prova

A moldagem dos corpos de prova foi realizada nas instalações do laboratório de Materiais de Construção e Mecânica dos Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul), *Campus* Avançado Jaguarão, já que a autora deste trabalho é docente nesta instituição. Esta decisão foi tomada por uma questão de logística, buscando otimizar o tempo dentro do laboratório e reduzindo o tempo de deslocamento.

Inicialmente, tanto os resíduos quanto a areia foram previamente mantidos em estufa por 24 horas, de forma que a umidade fosse eliminada. Após a secagem, os materiais foram peneirados e separados em frações. A areia foi separada em 4 porções, conforme determina a NBR 7214 (ABNT, 2015), sendo elas: grossa, retida na peneira 1,18 mm; média-grossa, retida na peneira 0,6 mm; média-fina, retida na peneira 0,3 mm e fina, retida na peneira 0,15 mm.

O preparo da argamassa seguiu os procedimentos de execução prescritos na NBR 7215 (ABNT, 2019), com auxílio de uma argamassadeira automática de movimento planetário de duas velocidades (PROJETEST), ilustrada na Figura 10.



Figura 10 - Argamassadeira automática de movimento planetário
Fonte: Autora

Considerando a impossibilidade física de moldar todos os corpos de prova necessários de uma só vez, pela capacidade de mistura da argamassadeira, os traços foram executados partindo da mesma quantidade de material. Esta foi definida conforme a capacidade do equipamento, que é 312 gramas para cada uma das quatro porções de areia. A partir da massa de agregado e seguindo a proporção do traço de referência 1:2:8 (cimento, cal e areia), calculou-se a massa de cimento e cal, que foram 156 e 312 gramas, respectivamente.

Além disso, considerando o número de moldes disponíveis e tendo em vista que após a cura os corpos de prova seriam movidos para serem rompidos no Laboratório de Materiais e Técnicas Construtivas do Centro de Engenharias da UFPEL, buscou-se moldar, no mesmo dia, todos os corpos de prova de todos os traços necessários para um determinado ensaio. A necessidade da remoção dos corpos de prova ocorreu devido ao fato do laboratório do IFSul, *Campus* Avançado Jaguarão, ser um laboratório recém implantado, e por isso, ainda não possuir todos os equipamentos necessários para a realização dos ensaios mecânicos e físicos.

O fator água/cimento dos traços foi definido a partir do índice de consistência, variando o consumo de água de acordo com a necessidade de cada traço para atender esse parâmetro. Considerando as recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2016), definiu-se que o índice de consistência seria de 260 ± 5 mm para todos os traços.

O índice de consistência foi testado logo após a preparação da argamassa, seguindo as recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2016). Com auxílio de um paquímetro mediu-se o espalhamento da argamassa, sendo o valor final apresentado, a média das três medidas ortogonais da massa após os trinta golpes da mesa (Figura 11).



Figura 11 - Verificação do índice de consistência.
Fonte: Autora

Considerando a capacidade da argamassadeira, os traços foram rodados partindo da mesma quantidade de material. Dessa forma, o consumo médio de insumos para cada rodada está exposto na tabela abaixo (Tabela 9).

Tabela 9 - Consumo de material

Traço	I.C (mm)	A/Aglom.	Cimento (g)	Resíduo (g)	Cal (g)	Areia (g)	Água (g)
REF	255	0,74	156,00	0,00	312	1248	346
RIPM 5%	262	0,70	148,20	7,80	312	1248	320
RIPM 10%	265	0,71	140,40	15,60	312	1248	320
RIPM 15%	260	0,72	132,60	23,40	312	1248	320
RCD 5%	265	0,72	148,20	7,80	312	1248	333
RCD 10%	260	0,71	140,40	15,60	312	1248	320
RCD 15%	265	0,73	132,60	23,40	312	1248	326

Fonte: Autora

Logo após a verificação do índice de consistência, iniciou-se a moldagem dos corpos de prova, seguindo os preceitos da NBR 7215 (ABNT, 2019). Foi utilizada a referida norma para a confecção de corpos de prova cilíndricos e a NBR 13279 (ABNT, 2005) para corpos de prova prismáticos. Então, foram utilizados moldes metálicos cilíndricos, com as dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura e molde prismáticos com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm. Foram moldados ao total 19 corpos de prova cilíndricos para cada traço de argamassa, totalizando 133 unidades e três corpos de prova prismáticos para cada traço, totalizado 21 prismas.

As argamassas permaneceram nos moldes, cobertas por placas de vidro, por um período de 24 e 48 horas, para os corpos de prova cilíndricos e prismáticos, respectivamente (Figura 12a). Após esse período, seguindo o método de Pinz (2019), os corpos de prova foram desmoldados e armazenados para cura, que ocorreu por aeração em ambiente de laboratório sem controle de temperatura e umidade (Figura 12b). O período de cura respeitou a idade de cada um dos ensaios de desempenho realizados.

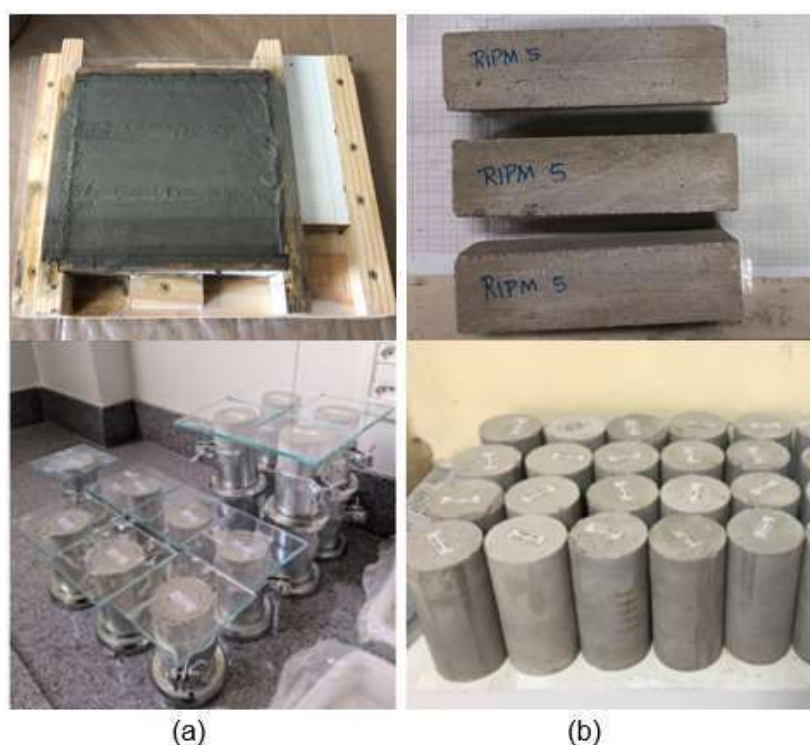


Figura 12 – Cura dos corpos de prova (a) primeiras 24 horas dos protótipos cilíndricos e 48 horas dos prismáticos (b) corpos de prova de argamassas com cal em cura ao ar.
Fonte: Autora

3.2.2 Ensaios de desempenho

Após atingir a idade necessária de cada ensaio, todas as argamassas passaram por testes de desempenhos físicos e mecânicos. Foram realizadas as seguintes avaliações mecânicas: resistência à compressão axial, resistência à tração na compressão diametral e resistência à tração na flexão. Quanto aos parâmetros físicos, foram realizados ensaios de absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão e índices de vazios.

3.2.2.1 Resistência à compressão axial

O ensaio de resistência à compressão das argamassas foi regulamentado pela NBR 7215 (ABNT, 2019). Com auxílio de uma prensa eletrohidráulica (Forney, Modelo F-25 EX-F-CPILOT), as argamassas foram ensaiadas nas idades de 7, 28 e 63 dias, conforme ilustrado na Figura 13. Além das duas primeiras idades, indicadas pela norma, seguindo a metodologia de Pinz (2019), acrescentou-se a idade de 63 dias com o objetivo de testar a reatividade dos resíduos nesta idade.



Figura 13 - Corpo de prova na prensa para realização do ensaio de resistência à compressão.
Fonte: Autora

3.2.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011). Seguindo as recomendações da norma em questão, e considerando o número mínimo de elementos por amostra exigidos por ela, foram rompidos dois corpos de prova de cada traço aos 28 dias de idade. A Figura 14 ilustra a execução deste ensaio.



Figura 14 - Corpo de prova na prensa para realização do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.
Fonte: Autora

3.2.2.3 Resistência à tração por flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão é regulamentado pela NBR 13279 (ABNT, 2005). Neste ensaio, os moldes prismáticos têm a dimensão de 4 cm x 4 cm x 16 cm e foram moldados em formas de madeira (Figura 15), com as especificações estabelecidas na norma citada.

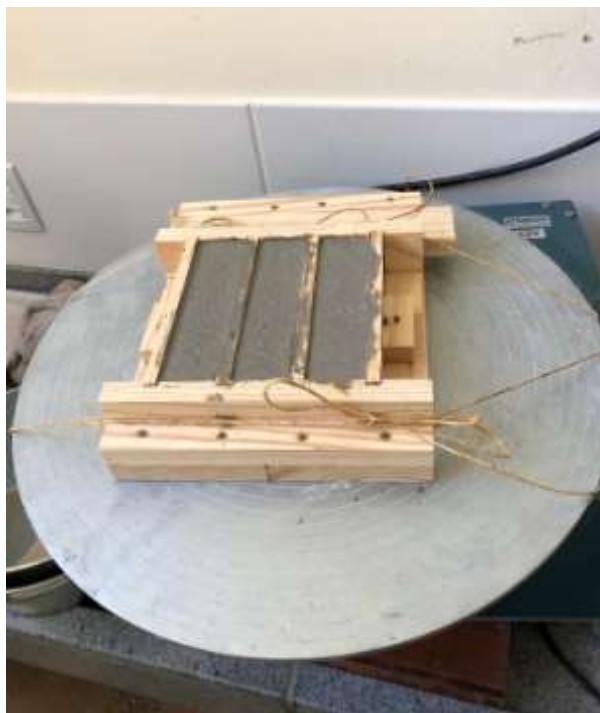


Figura 15 - Adensamento dos corpos de prova prismáticos.
Fonte: Autora

Os corpos de prova prismáticos permaneceram nas formas por um período de 48 horas em ambiente de laboratório. Após a desforma, eles foram encaminhados para a cura aerada em temperatura ambiente, também em laboratório, onde permaneceram por 28 dias até a ruptura.

3.2.2.4 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade seguiu as recomendações da NBR 9779 (ABNT, 2013). De acordo com as recomendações desta norma, foram ensaiados três corpos de prova de cada traço de argamassa, na idade de 28 dias. A Figura 16 demonstra a execução deste ensaio.



Figura 16 - Corpos de prova em contato com água para o ensaio de absorção
Fonte: Autora

Após a realização do ensaio os corpos de prova foram rompidos diametralmente, com o objetivo de observar a absorção de água no interior dos mesmos (Figura 17).



Figura 17 - Corpo de prova rompido diametralmente após a absorção por capilaridade.
Fonte: Autora

3.2.2.5 Absorção de água por imersão e índice de vazios

O ensaio de absorção de água por imersão e índice de vazios é regulamentado pela NBR 9778 (ABNT, 2009). Seguindo as prescrições desta norma, foram ensaiados dois corpos de prova de cada traço aos 28 dias de idade. A execução deste ensaio é apresentada na Figura 18.

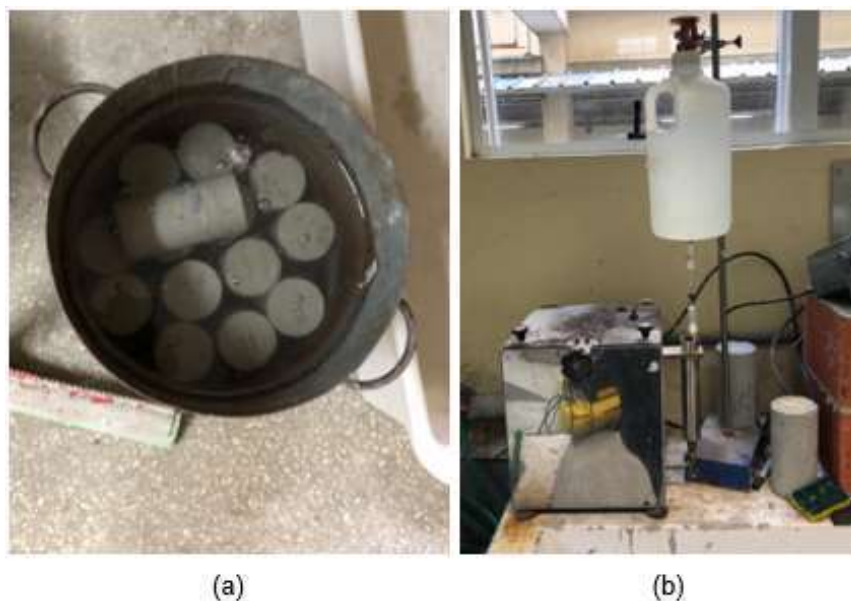


Figura 18 - Ensaio de absorção por imersão. (a) etapa de saturação dos corpos de prova; (b) etapa de ebulição.
Fonte: Autora

3.3 Análise estatística dos resultados

Após a conclusão dos ensaios no estado endurecido, realizou-se a análise estatística dos resultados através da Análise de Variância (ANOVA) e Teste Tukey, aplicada com sucesso no trabalho de Pinz (2019).

O Teste de variância (ANOVA) é um teste estatístico que visa verificar a existência de diferença significativa dentre os diferentes grupos avaliados. Essa análise avalia se as diferenças observadas entre as médias das amostras são estatisticamente significantes, no entanto, essa análise não identifica quais e quantas seriam diferentes. Para identificar as médias diferentes, utilizou-se o teste de Tukey com intervalo de confiança de 95%.

Desta forma, foram consideradas como variáveis independentes para a resistência à compressão, a idade e o teor de substituição. Já para os ensaios de resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão, absorção por capilaridade e absorção por imersão e índices de vazios foram considerados como variáveis independentes os teores de substituição.

Realizadas as análises estatísticas acima descritas dos resultados, foi possível identificar os traços com substituições de melhor desempenho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados, e discutidos, os resultados obtidos nesta pesquisa. Considerando que este trabalho é um seguimento dos estudos desenvolvidos pelo grupo de pesquisa da linha de Tecnologia e Conservação do Ambiente Construído e que o programa experimental se baseou na pesquisa de Pinz (2019), utilizando os mesmos aglomerantes, traços e teores de substituição do cimento por resíduos, inicialmente, realizou-se uma comparação das propriedades física e químicas dos materiais e a relação água/aglomerante deste trabalho com o estudo de Pinz (2019). Em seguida, é apresentado a análise estatística dos resultados dos ensaios no estado endurecido.

4.1 Análise comparativa entre as matérias-primas utilizadas e o fator água/aglomerante deste estudo com o estudo de Pinz (2019)

Embora ambos os estudos tenham sido realizados utilizando o cimento Portland CP IV 32, considerando o intervalo de tempo entre as pesquisas, os aglomerantes possuíam lotes de fabricação distintos. Observou-se, na Tabela 10, a variação do percentual de finura e da resistência a permeabilidade ao ar (Blaine) de ambos os cimentos.

Tabela 10 - Análise das propriedades físicas do cimento

Tipo de ensaio		Cimento usado por Pinz (2019)	Cimento usado nesta pesquisa (2020)
Massa específica (g/cm ³)		-	2,77
Finura (%)	# 200	0,3	0,6
	# 325	1,6	2,8
Blaine (cm ² /g)		4999	4252

Fonte: Autora

O resultado do ensaio de Blaine indicou que o cimento utilizado na pesquisa de Pinz (2019) apresentava maior área de superfície de contato. Além disso, percebe-se que o percentual de cimento retido na peneira de abertura 75 µm (#200) e 45 µm

(#375) foi maior no lote de cimento adquirido em 2020. Estas propriedades exercem influência no desempenho reológico e mecânico das argamassas, onde a maior área de superfície indica um material mais fino, o que proporciona maior capacidade de reação inicial, assim como exposto por Battagin (2011).

As cales utilizadas também foram comparadas e a análise, apresentada na Tabela 11, indicou diferença entre as propriedades destes materiais. Nota-se que a cal fabricada no ano de 2020 apresentou teores de óxidos mais elevados e menor quantidade de resíduos insolúveis. Esse resultado evidencia a diferença na qualidade das cales entre os distintos lotes de fabricação. Cabe destacar que quanto maior o teor de óxidos totais e menor o percentual de resíduos insolúveis, maior será a contribuição da cal no desempenho mecânico das argamassas, como foi explicado por Cincotto *et al* (2007).

Tabela 11 – Análise das propriedades físicas e químicas da cal hidráulica.

Propriedades	Análise (%) da cal usada por Pinz (2019)	Análise (%) da cal usada nesta pesquisa (2020)
Óxidos Totais	60	≤ 88
Óxidos não hidratados	11,56	≤ 15
CaO – Óxido de Cálcio	30,04	43,06
MgO – Óxido de Magnésio	20,52	26,63
R I – Resíduos Insolúveis	39,44	8,07
P F – Perda ao Fogo	11,35	22,11
Umidade	-	0,66
Densidade (g/l)	558,62	538
Peneira 0,6mm	0,00	0,00
Peneira 0,075mm	12,92	9,67

Fonte: Autora

Da mesma forma, os agregados utilizados foram analisados e os resultados dos parâmetros físicos estão expostos na Tabela 12. Observa-se que apesar de ambos os agregados terem sido adquiridos na cidade de Pelotas/RS, a areia utilizada na pesquisa de Pinz (2019) apresentava massa específica e massa unitária mais elevada. No que diz respeito aos índices de vazios, nota-se que a areia utilizada nesse trabalho era menos porosa, o que pode indicar que o formato e o tamanho das partículas contribuíram para o melhor empacotamento do agregado. Por fim, a

comparação do módulo de finura demonstrou que ambos os agregados se enquadraram na zona ótima, conforme os critérios de classificação da NBR 7211 (ABNT, 2009).

Tabela 12 - Análise dos parâmetros físicos da areia

Parâmetros físicos	Areia usada por Pinz (2019)	Areia usada nesta pesquisa
Massa específica (g/cm ³)	2,62 g/cm ³	2,41 g/cm ³
Massa unitária solta (g/cm ³)	1,62 g/cm ³	1,49 g/cm ³
Índice de volume de vazios (%)	33,97%	31,24%
Absorção (%)	0,66%	0,61%
Módulo de finura	2,81	2,79

Fonte: Autora

Já os parâmetros físicos dos resíduos utilizados nas duas pesquisas são apresentados na Tabela 13. Por se tratar de materiais de origens distintas, já era esperado que os parâmetros físicos apresentariam características diferentes.

Tabela 13 - Análise dos parâmetros físicos entre os resíduos

Parâmetros físicos	RCV (Pinz 2019)	RCD	RIPM
Massa específica (g/cm ³)	2,44 g/cm ³	2,51 g/cm ³	2,33 g/cm ³
Massa unitária solta (g/cm ³)	0,31 g/cm ³	1,46 g/cm ³	1,56 g/cm ³
Índice de volume de vazios (%)	85,6%	30,5%	25,4%
Absorção (%)	10,26%	8%	4,7%
Módulo de finura	3,57	3,32	3,09

Fonte: autora.

Nota-se, na tabela acima, que o RCV apresentou o maior coeficiente de absorção entre os resíduos analisados. Além disso, é possível observar que o índice de vazios desse resíduo foi três vezes mais elevado que o do RCD e RIPM.

Por fim, a Tabela 14 apresenta a relação água/aglomerante para cada um dos traços testados. Cabe destacar que o consumo de água entre as misturas variou para atender o índice de consistência de 260±5 mm.

Tabela 14 - Relação água aglomerante dos traços testados

Traço	I.C (mm)	A/Aglom.
REF	255	0,74
RIPM 5%	262	0,70
RIPM 10%	265	0,71
RIPM 15%	260	0,72
RCD 5%	265	0,72
RCD 10%	260	0,71
RCD 15%	265	0,73
REF (PINZ, 2019)	257,8	0,61
RCV 5% (PINZ, 2019)	258,8	0,60
RCV 10% (PINZ, 2019)	258,2	0,61
RCV 15% (PINZ, 2019)	260,7	0,61

Fonte: autora.

Analisando os dados da Tabela 14, observa-se que os traços desenvolvidos por Pinz (2019) necessitaram menor quantidade de água para atingir o parâmetro de consistência previamente estabelecido. É possível supor que este comportamento esteja atrelado ao fato de a massa unitária do agregado utilizado ser mais elevada, resultando em uma mistura mais pesada, e com as quedas da mesa de consistência, esta mistura espalham-se mais, assim como concluído no estudo de Carasek *et al.* (2016).

Considerando que as propriedades químicas e físicas dos materiais podem exercer influência no comportamento das argamassas, realizou-se, também, a comparação dos ensaios de desempenho no estado endurecido. Esta análise demonstrou que embora as argamassas tenham sido confeccionadas com as mesmas proporções e parâmetros de moldagem, os traços de referência apresentaram valores de média discrepantes.

4.2 Análise estatística dos resultados no ensaio endurecido

4.2.1 Resistência à compressão axial

A Tabela 15 apresenta os valores das médias, dos desvios padrões e dos coeficientes de variação da resistência à compressão axial das argamassas nas idades de 7, 28 e 63 dias. Logo após, a Figura 19 traz a comparação entre os dados de resistência à compressão axial de cada traço, em cada uma das idades. No apêndice A estão apresentados os valores individuais de cada elemento da amostra avaliada.

Tabela 15 - Resultado da resistência à compressão para 7, 28 e 63 dias

Traço	7 dias			28 dias			63 dias		
	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. Variação (%)
REF	1,92	0,10	5,46	6,16	0,74	12,05	9,71	1,32	13,55
RIPM 5%	1,76	0,05	2,90	5,61	0,60	10,61	7,64	0,25	3,27
RIPM 10%	1,81	0,09	4,88	5,35	0,22	4,04	7,60	0,23	3,06
RIPM 15%	1,67	0,13	7,63	5,18	0,20	3,80	7,26	0,68	9,34
RCD 5%	1,62	0,09	5,38	6,25	0,43	6,92	10,03	0,79	7,90
RCD 10%	1,52	0,13	8,40	5,09	0,25	4,97	8,54	0,60	7,06
RCD 15%	1,52	0,06	4,23	5,09	0,32	6,38	8,67	0,45	5,20

Fonte: Autora

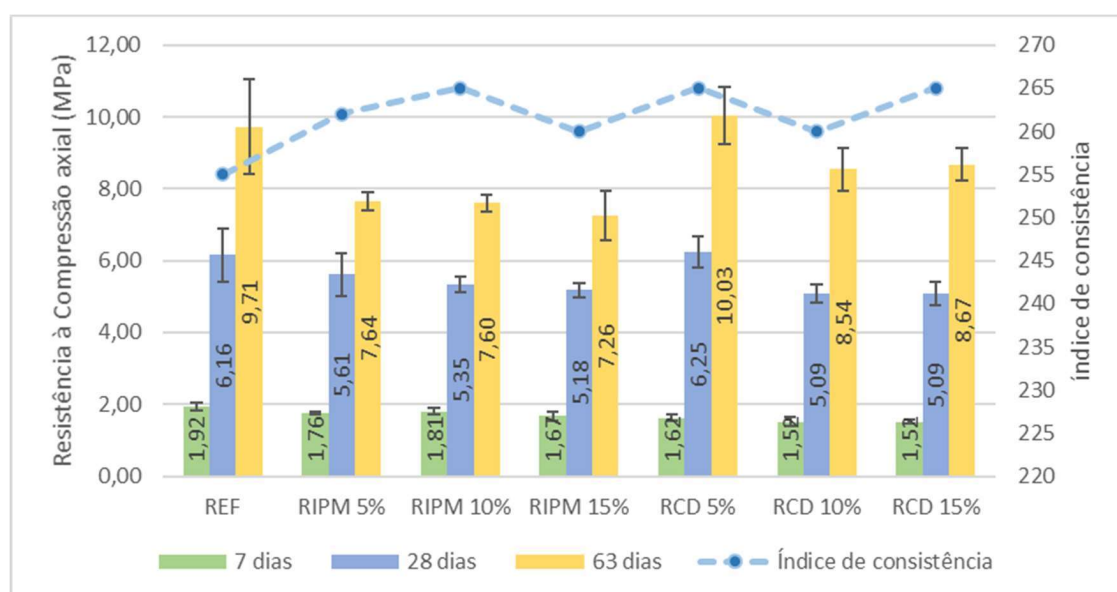


Figura 19 - Resistência à compressão das argamassas nas idades de 7, 28 e 63 dias

Fonte: Autora

Ao analisar os dados de resistência à compressão aos 7 dias, verifica-se que o maior valor foi registrado pelo traço de referência. Entre as argamassas que utilizaram resíduos em sua confecção, percebe-se que aquelas com o RIPM obtiveram melhor desempenho, sendo que o teor de substituição de 10% apresentou maior resistência que os traços RIPM 5% e RIPM 15%. Os grupos de argamassas RIPM 5% e RCD 15% apresentaram o menor desvio padrão, o que indica uma amostra mais homogênea e com valores próximos à média do grupo.

Aos 28 dias, observa-se que o traço RCD 5% demonstrou a maior resistência entre as argamassas estudadas. Já os teores de substituição de RCD 10% e RCD 15% apresentaram a mesma média de resistência à compressão e um baixo coeficiente de variação, o que indica que o intervalo de substituição apresenta desempenho semelhante. Também registrou-se uma pequena variação nesse mesmo intervalo de substituição para os traços que utilizaram o RIPM em sua confecção. Destaca-se que os valores dos desvios padrões registrados aos 28 dias apresentaram-se mais elevados que os registrados aos 7 dias, o que indica que houve maior variabilidade entre as médias. Segundo os requisitos da NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas REF e RCD 5% podem ser classificadas na Classe P5 (5,5 a 9,0 MPa) e as demais, como classe P4 (4,0 a 6,5 MPa).

Aos 63 dias, verifica-se um comportamento similar ao apresentado com 28 dias, onde o melhor desempenho foi registrado pelo traço RCD 5%. Entre as argamassas que utilizaram resíduos em sua composição, verifica-se que aquelas com RCD apresentam valores de resistência mais elevados que aquelas com RIPM. No entanto, embora os traços com RIPM tenham apresentado menor desempenho, as argamassas com 5 e 10% de RIPM apresentaram o menor desvio padrão e coeficiente de variação.

Para melhor compreensão do comportamento das argamassas ao longo do tempo, apresenta-se, na Tabela 16, o desempenho de cada traço em relação ao traço de referência e o acréscimo de resistência entre as idades de 7, 28 e 63 dias.

Tabela 16 - Desempenho e ganho de resistência à compressão com 7, 28 e 63 dias.

Traço	Média 7 dias (MPa)	Desemp. em relação ao REF.	Média 28 dias (MPa)	Desemp. em relação ao REF.	Ganho de resistência entre 7 e 28 dias (%)	Média 63 dias (MPa)	Desemp. em relação ao REF.	Ganho de resistência entre 28 e 63 dias (%)
REF	1,92	-	6,16	-	221%	9,71	-	58%
RIPM 5%	1,76	-8,6%	5,61	-8,9%	220%	7,64	-21,4%	36%
RIPM 10%	1,81	-6,0%	5,35	-13,2%	196%	7,60	-21,8%	42%
RIPM 15%	1,67	-13,2%	5,18	-15,9%	211%	7,26	-25,3%	40%
RCD 5%	1,62	-15,9%	6,25	1,4%	287%	10,03	3,3%	60%
RCD 10%	1,52	-21,2%	5,09	-17,4%	236%	8,54	-12,1%	68%
RCD 15%	1,52	-21,2%	5,09	-17,4%	236%	8,67	-10,7%	70%

Fonte: Autora

Analisando a tabela acima, percebe-se que todos os traços apresentaram ganho de resistência entre as idades de 7 e 28 dias. Observa-se que a argamassa de referência deste trabalho obteve aos 28 dias, resistência à compressão três vezes mais elevada que aos 7 dias. Este ganho de resistência foi superior ao registrado por Araújo (2014), onde o traço de referência apresentou, respectivamente, para as idades de 7 e 28 dias, resistência de 1,71 MPa e 2,13 MPa. É possível relacionar o acréscimo de resistência nestas idades à hidratação do silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), componente químico presente no cimento, assim como identificado no trabalho de Nakanishi (2013).

Além disso, observa-se que, embora as argamassas com RCD tenham apresentado o menor desempenho inicial, este grupo foi o que apresentou o maior acréscimo de resistência ao longo do tempo. Já entre as argamassas confeccionadas com RIPM, percebe-se que o ganho de resistência nas idades superiores a 28 dias não é significativo. Desta forma, pode-se supor que o RCD reage de alguma forma com o cimento e contribuir com ganho de resistência à compressão axial em idades mais avançadas.

Para melhor entendimento dos resultados de resistência à compressão axial, realizou-se a análise de variância (ANOVA). A Tabela 17 apresenta os resultados desta análise.

Tabela 17 - Análise ANOVA dos resultados de resistência à compressão

Fonte	Soma Quadrada	G.L	Média Quadrada	F calculado	P -valor	F crítico
Traços	18,178	6	3,030	12,910	1,87E-09	2,246
Idades	652,610	2	326,304	1390,436	7,6E-53	3,143
Traço x Idades	16,033	12	1,336	5,693	1,6E-06	1,909
Resíduos	14,785	63	0,235			

Fonte: Autora

Através desta análise, verificou-se a existência de diferença significativa entre as variáveis relacionadas, sendo elas: o teor de substituição e idade das amostras. Desta forma, considerando a existência de diferença significativa, realizou-se o teste de Tukey com um nível de confiabilidade de 95%. As médias foram avaliadas de acordo com a idade, cujo resultado é apresentado na Tabela 18 e nas Figuras 20, 21 e 22. Os valores que apresentaram diferenças significativas estão destacados em vermelhos na Tabela 18.

Tabela 18 – Teste de Tukey dos resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias

(continua)

Traços	7 dias P-valor	28 dias P-valor	63 dias P-valor
Análise REF - RIPM			
REF - RIPM 5%	0,238949317	0,584342296	0,007008728
REF - RIPM 10%	0,638362039	0,168254000	0,005895364
REF - RIPM 15%	0,018179674	0,060471365	0,001226157
Análise RIPM – RIPM			
RIPM 5% - RIPM 10%	0,987782273	0,974568288	0,999999978
RIPM 5% - RIPM 15%	0,843018015	0,798613606	0,986080707
RIPM 15% - RIPM 10%	0,416436316	0,997968066	0,991949147
Análise REF - RCD			
REF - RCD 5%	0,003401416	0,999941747	0,994654922
REF - RCD 10%	0,000115431	0,03319232	0,270854489
REF - RCD 15%	0,000115431	0,03319232	0,394587504
Análise RCD – RCD			
RCD 5% - RCD 10%	0,747839136	0,017804002	0,086673619
RCD 5% - RCD 15%	0,747839136	0,017804002	0,140700698
RCD 15% - RCD 10%	1,0000000000	1,0000000000	0,999971279

Tabela 18 – Teste de Tukey dos resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 63 dias
(conclusão)

Análise RIPM - RCD			
RIPM 5% - RCD 5%	0,416436316	0,414680864	0,001641085
RIPM 5% - RCD 10%	0,027276049	0,634514265	0,557544369
RIPM 5% - RCD 15%	0,027276049	0,634514265	0,408454478
RIPM 10% - RCD 5%	0,123975275	0,098663117	0,001377757
RIPM 10%-RCD 10%	0,005198541	0,980022477	0,511301197
RIPM 10% - RCD 15%	0,005198541	0,980022477	0,367603927
RIPM 15% - RCD 5%	0,987782273	0,03319232	0,000287727
RIPM 15% - RCD 10%	0,320002094	0,999941747	0,184959721
RIPM 15% - RCD 15%	0,320002094	0,999941747	0,116375825

Fonte: Autora

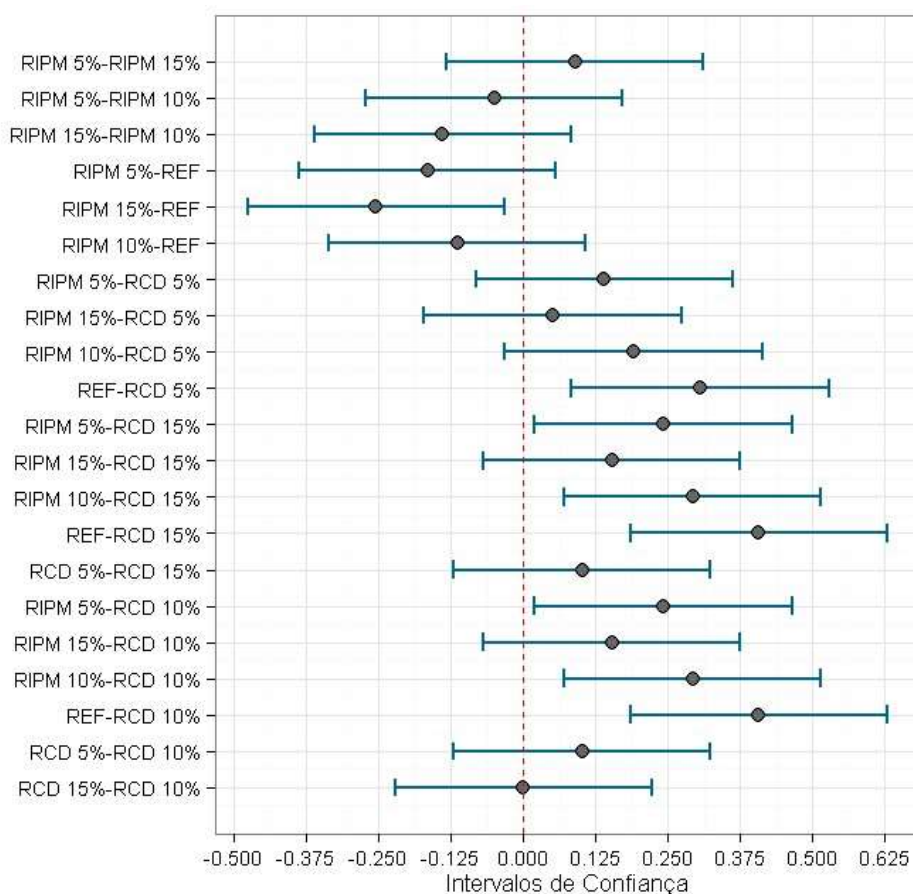


Figura 20 - Teste de Tukey resistência à compressão axial aos 7 dias

Fonte: Autora

Analisando os resultados de resistência à compressão aos 7 dias, apresentados na Tabela 18 e na Figura 20, constata-se que não há diferença significativa entre as médias dos teores de substituição dentro do grupo de

argamassas com RCD e RIPM. No entanto, quando comparados ao traço de referência, o teste de Tukey apontou diferença significativa entre as seguintes aferições: REF e RIPM 15%; REF e RCD 5%; REF e RCD 10% e; REF e RCD 15%. Já a análise entre os grupos RIPM e RCD não verificou diferenças significativas para as comparações: RIPM 5% e RCD 5%; RIPM 10% e RCD 5%; RIPM 15% e RCD 5%; RIPM 15% e RCD 10% e; RIPM 15% e RCD 15%.

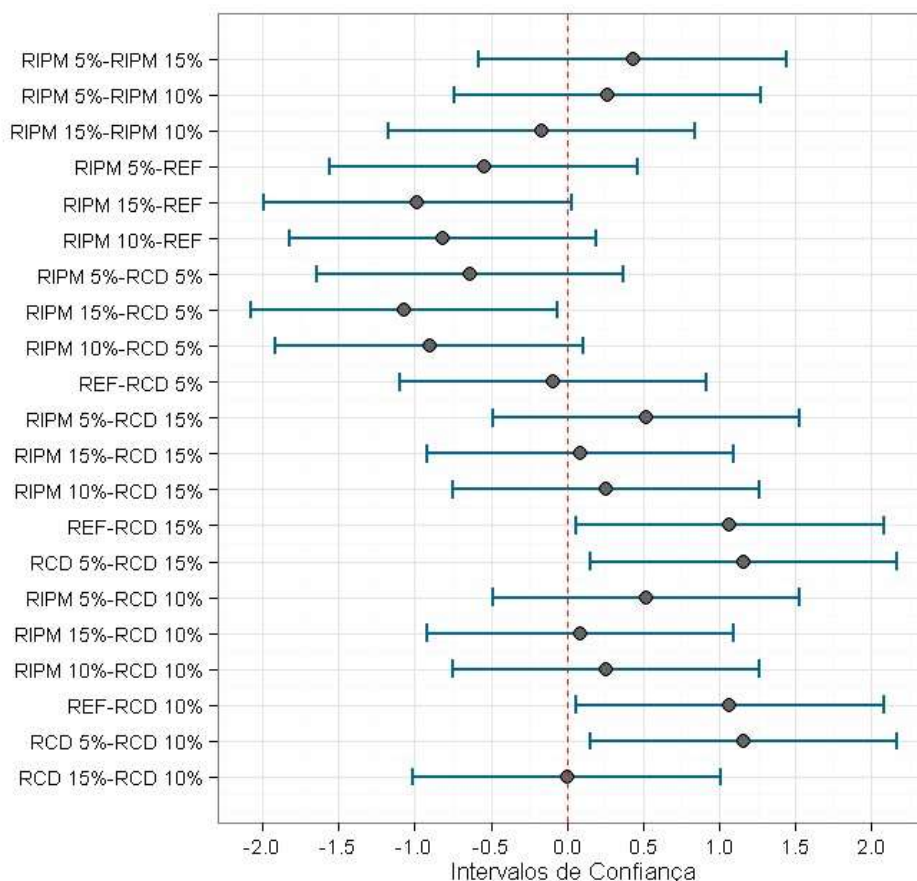


Figura 21 - Teste de Tukey resistência à compressão axial aos 28 dias
Fonte: Autora

Os resultados do teste de Tukey para resistência à compressão aos 28 dias, apresentados na Tabela 18 e na Figura 21, demonstram que há diferença significativa entre as aferições do REF com os traços RCD 10% e RCD 15%. As comparações dentro do grupo de argamassas com RCD em sua composição demonstraram diferença significativa do RCD 5% quando comparado ao RCD 10% e RCD 15%. Entre os grupos que utilizaram resíduos em sua composição, constatou-se que apenas a comparação do RIPM 15% com o RCD 5% apresentou diferença significativa, o que indica que os demais traços apresentaram estatisticamente a mesma resistência. O

mesmo ocorre com o grupo de argamassas com RIPM em sua composição quando comparado com o traço de referência.

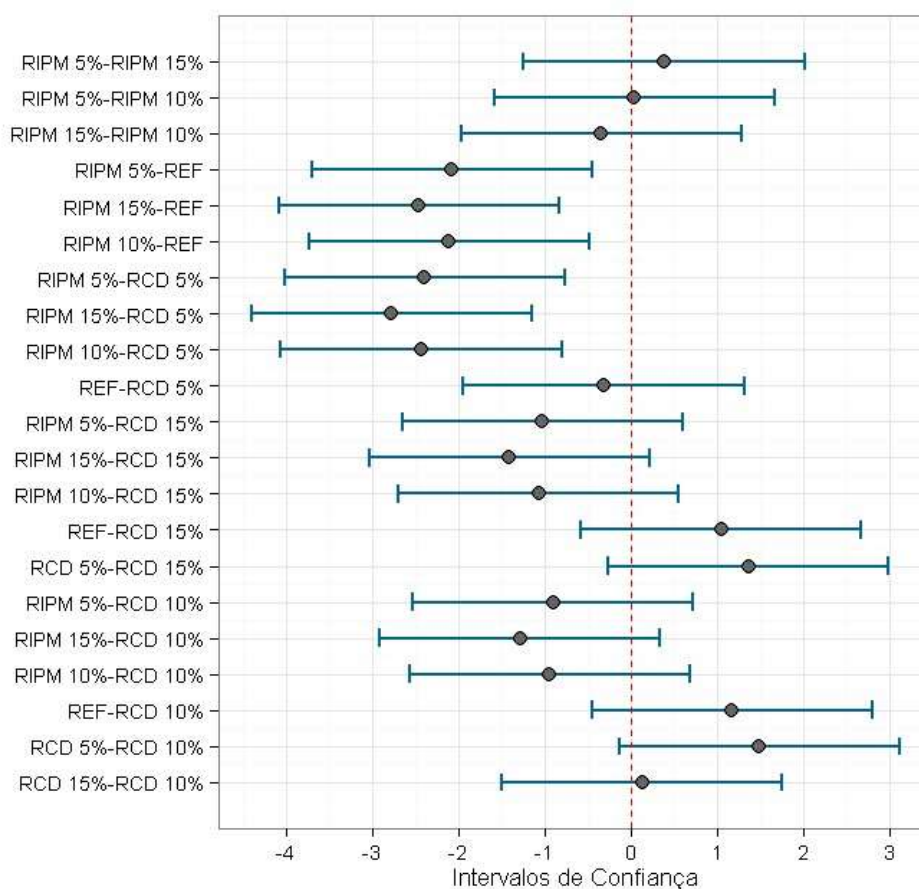


Figura 22 - Teste de Tukey resistência à compressão axial aos 63 dias
Fonte: Autora

Aos 63 dias, a análise de Tukey (Figura 22 e Tabela 18) indica a existência de diferença significativa entre os grupos REF e RIPM para todos os teores de substituição. Nos grupos RCD e RIPM verificou-se desigualdade para as aferições entre RIPM 10% e RCD 5% e RIPM 15% e RCD 5%. Observa-se que, o grupo de argamassas que utilizou RCD em sua composição apresentou estatisticamente a mesma resistência daquelas do grupo de referência.

Considerando que a NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as argamassas de acordo com a resistência aos 28 dias, é possível indicar a substituição do cimento pelo teor de 5% do RCD sem causar interferência na resistência à compressão. Já os três teores de substituição do RIPM, embora sejam estatisticamente iguais ao traço de referência nesta idade, aos 63 dias estes valores apresentam diferenças significativas quando comparados ao traço de referência.

No estudo de Pinz (2019), observa-se que as argamassas com substituição do cimento por resíduos de cerâmica vermelha (RCV) apresentaram desempenho inicial superior ao das argamassas com RCD e RIPM. Desta forma, considerando que este trabalho seguiu a metodologia da autora, realizou-se a análise estatística comparativa entre os resultados de ambos os estudos. Através do teste de Tukey verificou-se que as aferições dos grupos RIPM e RCD com o RCV não apresentam igualdade entre as médias aos 7 dias. No entanto, para a idade de 28 dias, observa-se que a aferição entre os traços RCV 5% e RCD 5% são estatisticamente iguais. Já aos 63 dias, a análise estatística identificou uma maior quantidade de igualdade entre médias, sendo elas: RCV 10% e RCD 5%; RCV 10% e RCD 10%; RCV 10% e RCD 15%; RCV 15% e RCD 10%; RCV 15% e RCD 15%, RCV 5% e RIPM 5%; RCV 5% e RIPM 10% e; RCV 5% e RIPM 15%.

Assim sendo, é possível sugerir que tanto o tipo de resíduo, quanto o percentual de substituição deles, proporcionam interferência na resistência à compressão axial das argamassas.

4.2.2 Resistência à tração na flexão

Os resultados das médias de resistência à tração na flexão, bem como o desvio padrão e o coeficiente de variação são exibidos na Figura 23 e na Tabela 19. Já os valores individuais de cada elemento da amostra testada podem ser consultados no apêndice B.

Tabela 19 - Resultados de resistência à tração na flexão

Traço	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. de Variação (%)
REF	2,23	0,15	6,66
RIPM 5%	4,21	0,39	9,35
RIPM 10%	3,95	0,91	22,90
RIPM 15%	3,95	0,39	9,96
RCD 5%	3,35	0,26	7,69
RCD 10%	3,61	0,45	12,37
RCD 15%	2,58	1,36	52,92

Fonte: Autora

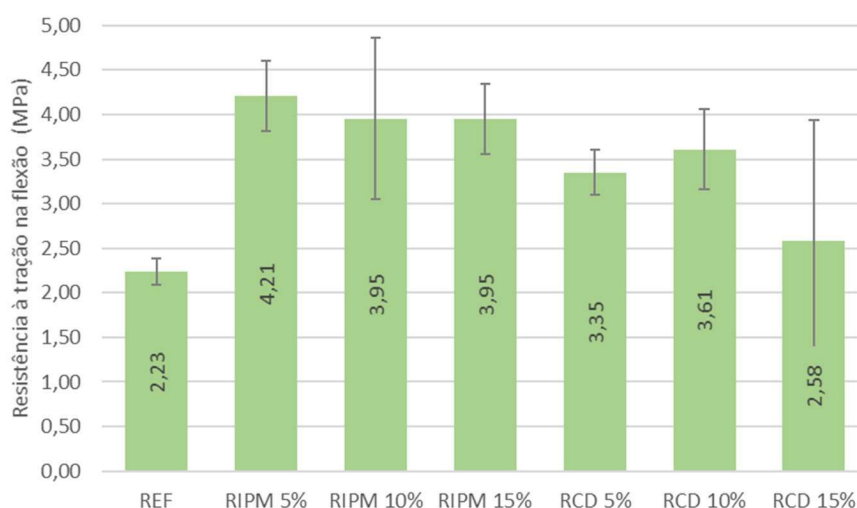


Figura 23 - Resultados de resistência à tração na flexão
Fonte: Autora

Verificando os resultados na Tabela 19 e na Figura 23, percebe-se que as argamassas que utilizaram resíduos em sua composição apresentaram melhor desempenho à tração na flexão que a argamassa de referência. Considerando as conclusões do estudo de Zanolla (2016), pode-se atribuir este comportamento a redução da porosidade dos corpos de prova, ocasionada pela incorporação das partículas de resíduos.

Entre as argamassas estudadas, observa-se que as misturas com RCD apresentaram comportamento não linear entre o teor de substituição e a resistência à tração na flexão. O melhor rendimento foi registrado para o teor de 10% de substituição, que apresentou acréscimo de resistência de 62% em relação ao traço de referência. Já entre o grupo de argamassa com RIPM, registrou-se o melhor desempenho para o teor de substituição de 5%, com aumento de resistência de 89% em relação ao traço de referência. Neste mesmo grupo, os teores de 10 e 15% registraram o mesmo valor de resistência, sendo 77% mais elevada que o traço de referência.

Os resultados deste estudo caminham ao encontro com a pesquisa de Formigoni *et al.* (2019), com substituição do aglomerante por resíduo de placa cerâmica, onde se constatou o melhoramento da resistência de tração na flexão para os traços com substituição de até 12%.

A análise estatística ANOVA, apresentada na Tabela 20, indicou a existência de diferença significativa entre pelo menos uma das médias testadas.

Tabela 20 - Análise ANOVA dos resultados à tração na flexão

Fonte	Soma Quadrada	G.L	Média Quadrada	F calculado	P -valor	F crítico
Traços	10,04605539	6	1,674342564	3,574324324	0,023218928	2,84772599
Resíduos	6,558105469	14	0,468436105			

Fonte: Autora

Dessa forma, para identificar quais médias apresentaram diferenças significativas, realizou-se o teste de Tukey com confiabilidade de 95%. O resultado deste teste, apresentado na Figura 24 e na Tabela 21, demonstra que o traço RIPM 5% é estatisticamente diferente do traço referência. No entanto, cabe destacar que o traço RIPM 5% apresentou resistência superior ao traço de referência.

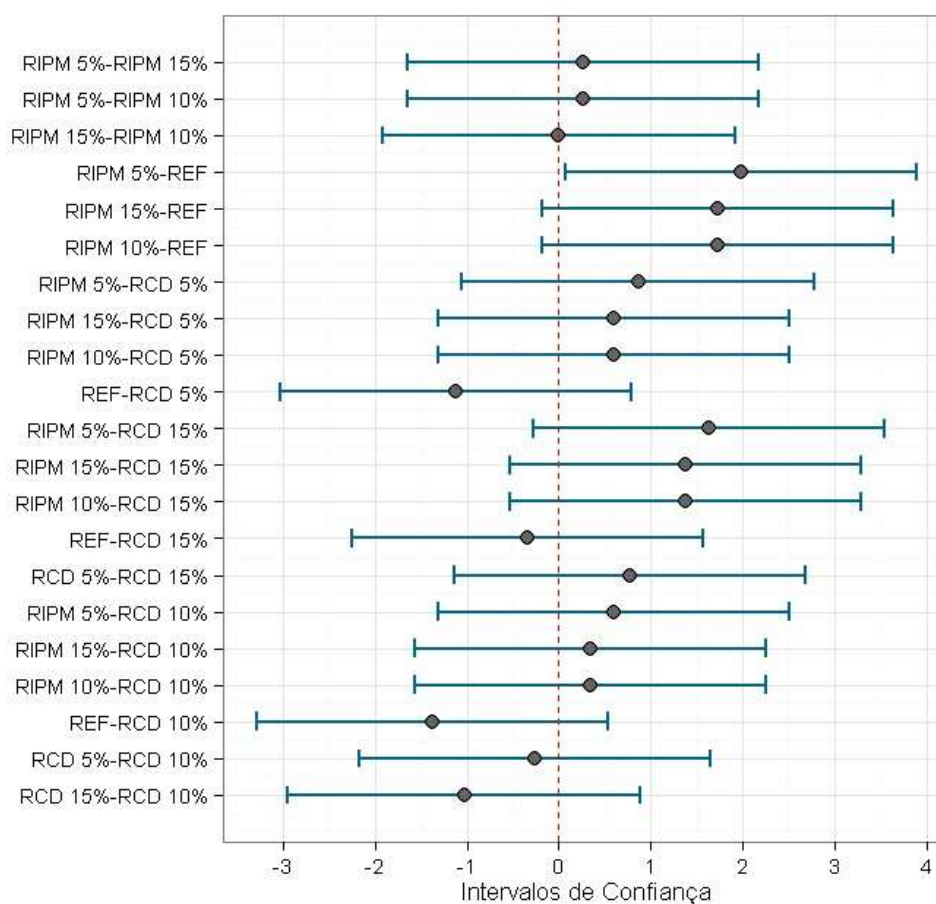


Figura 24 - Teste de Tukey resistência à tração na flexão

Fonte: Autora

Tabela 21 – Teste de Tukey dos resultados de resistência à tração na flexão

Traços	28 dias
	P-valor
Análise REF - RIPM	
REF - RIPM 5%	0,040174
REF - RIPM 10%	0,090514
REF - RIPM 15%	0,090514
Análise RIPM - RIPM	
RIPM 5% - RIPM 10%	0,999002
RIPM 5% - RIPM 15%	0,999002
RIPM 15% - RIPM 10%	1
Análise REF - RCD	
REF - RCD 5%	0,455719
REF - RCD 10%	0,244548
REF - RCD 15%	0,995142
Análise RCD - RCD	
RCD 5% - RCD 10%	0,999002
RCD 5% - RCD 15%	0,801388
RCD 15% - RCD 10%	0,542043
Análise RIPM – RCD	
RIPM 5% - RCD 5%	0,719889
RIPM 5% - RCD 10%	0,925142
RIPM 5% - RCD 15%	0,117479
RIPM 10% - RCD 5%	0,925142
RIPM 10% - RCD 10%	0,995142
RIPM 10% - RCD 15%	0,244548
RIPM 15% - RCD 5%	0,925142
RIPM 15% - RCD 10%	0,995142
RIPM 15% - RCD 15%	0,244548

Fonte: Autora

Seguindo as indicações da NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas com RIPM em sua composição se enquadram na classe R6 (> 3,5 MPa). Já as argamassas com teor de 5 e 10% de RCD pertencem à classe R5 (2,7 a 4,5 MPa), por fim, argamassa com teor de 15% de RCD e a argamassa de referência podem ser classificadas como R4 (2,0 a 3,5 MPa).

Assim como no ensaio de resistência à compressão axial, realizou-se a comparação das médias do ensaio de resistência à tração na flexão deste estudo com

a pesquisa de Pinz (2019). Com base nesta análise comparativa, observou-se que as misturas confeccionadas com RCV apresentaram valor de média para resistência à tração na flexão superior ao desempenho das argamassas com RIPM e RCD. No entanto, os valores de média dos três resíduos aqui comparados são superiores aos resultados obtidos por Araújo (2017), onde a autora registrou o melhor desempenho com a substituição de 10% do cimento por RCV, obtendo-se a resistência de 2,06 MPa.

Através da análise ANOVA e no teste de Tukey, verificou-se que entre as comparações dos traços RIPM e RCV apenas o teor de substituição de 15% do RCV não se encaixou na hipótese de igualdade entre as médias. Já com relação a análise entre os grupos RCD e RCV, o teste de Tukey demonstrou igualdade estatística entre as seguintes aferições: RCV 5% e RCD 10%; RCV 10% e RCD 5%; RCV 10% e RCD 10% e; RCV 10% e RCD 15%. Além disso, é possível evidenciar que o teor de substituição de 10% proporcionou estatisticamente a mesma resistência à tração na flexão para os três resíduos testados.

Assim sendo, no que diz respeito à resistência à tração na flexão, pode-se dizer que o uso de resíduos como substituinte parcial do cimento propicia a confecção de argamassas com classificação igual ou superior à argamassa de referência, viabilizando a substituição de até 15% do cimento por resíduo de construção civil.

4.2.3 Resistência à tração por compressão diametral

Os resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral das argamassas são apresentados por meio da Tabela 22 e da Figura 25, onde pode-se verificar a média da resistência, o desvio padrão e o coeficiente de variação de cada traço. No apêndice C são apresentados os valores individuais dos elementos das amostras avaliadas.

Tabela 22 - Resultados da resistência à tração na compressão diametral

Traço	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. de Variação (%)
REF	0,81	0,05	6,63
RIPM 5%	0,68	0,05	6,61
RIPM 10%	0,72	0,12	16,27
RIPM 15%	0,67	0,07	10,67
RCD 5%	0,74	0,04	4,88
RCD 10%	0,70	0,04	5,14
RCD 15%	0,67	0,04	5,34

Fonte: Autora

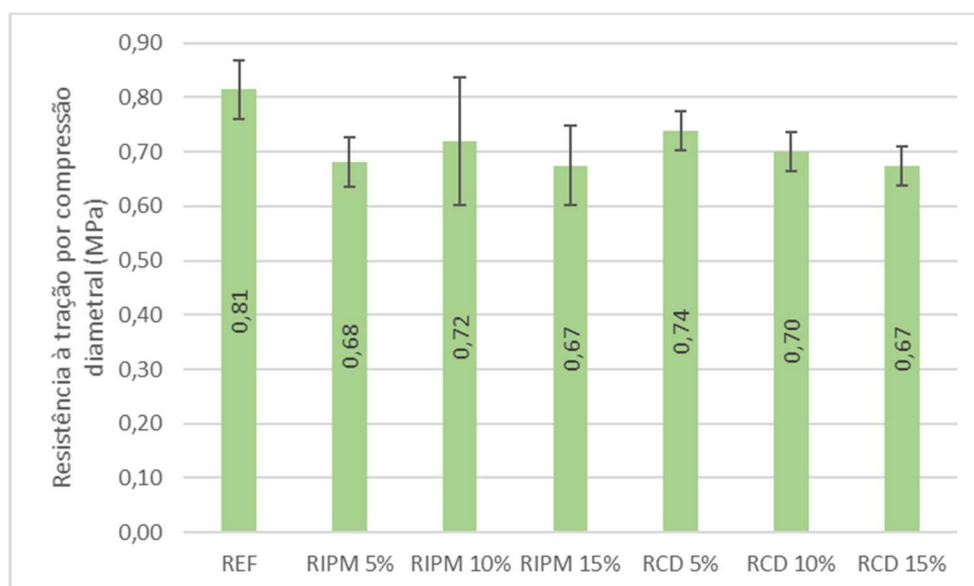


Figura 25 - Resistência à tração por compressão diametral das argamassas

Fonte: Autora

Analisando os resultados da Figura 25 e da Tabela 22, percebe-se que o grupo de argamassas com RCD apresentou o menor desvio padrão entre as médias, o que indica que as argamassas tiveram um comportamento mais homogêneo. Também, observa-se que esse grupo demonstrou comportamento linear entre o teor de substituição e a resistência à tração por compressão diametral.

Já nas argamassas elaboradas com RIPM, constata-se que o melhor rendimento foi registrado pelo teor de substituição de 10%. No entanto, observa-se que o desvio padrão deste grupo foi o maior entre as argamassas estudadas, o que indica uma maior variabilidade entre os resultados.

No estudo de Apolinário (2014), observou-se um comportamento contrário ao apresentado nesta pesquisa. Nele, a autora verificou que a substituição do cimento por resíduo proveniente do corte de mármore e granito melhorou a resistência à tração por compressão diametral proporcionalmente ao teor de resíduo adicionado. A autora atribuiu este fato ao efeito físico da adição mineral sobre o empacotamento das partículas, onde o alto teor de finos teria contribuído para aumentar a homogeneidade e a resistência das argamassas.

Nesse mesmo sentido, embora tenham testado o efeito da substituição do agregado por resíduo de construção e demolição, e os ensaios tenham sido realizados com 7 e 14 dias, Assunção *et al.* (2007) constataram que as argamassas com resíduos de construção e demolição apresentaram desempenho superior aos da argamassa de referência. Aos 14 dias, o menor e maior valor registrado foram 0,61 MPa e 0,83 MPa, respectivamente, para os traços de referência e com teor de 60% de substituição.

A análise de variância ANOVA, com nível de confiabilidade de 95%, demonstrou que as substituições testadas nesta pesquisa correspondem a hipótese de igualdade entre as médias com o traço de referência, conforme pode-se verificar na Tabela 23. Além disso, o teste de Tukey confirmou este resultado e a Figura 26 ilustra de forma mais clara a igualdade entre as médias.

Tabela 23 - Análise ANOVA dos ensaios à tração por compressão diametral

Fonte	Soma Quadrada	G.L	Média Quadrada	F calculado	P -valor	F crítico
Traços	0,030268838	6	0,005044806	1,273879142	0,375556611	3,86596885
Resíduos	0,027721346	7	0,003960192			

Fonte: Autora

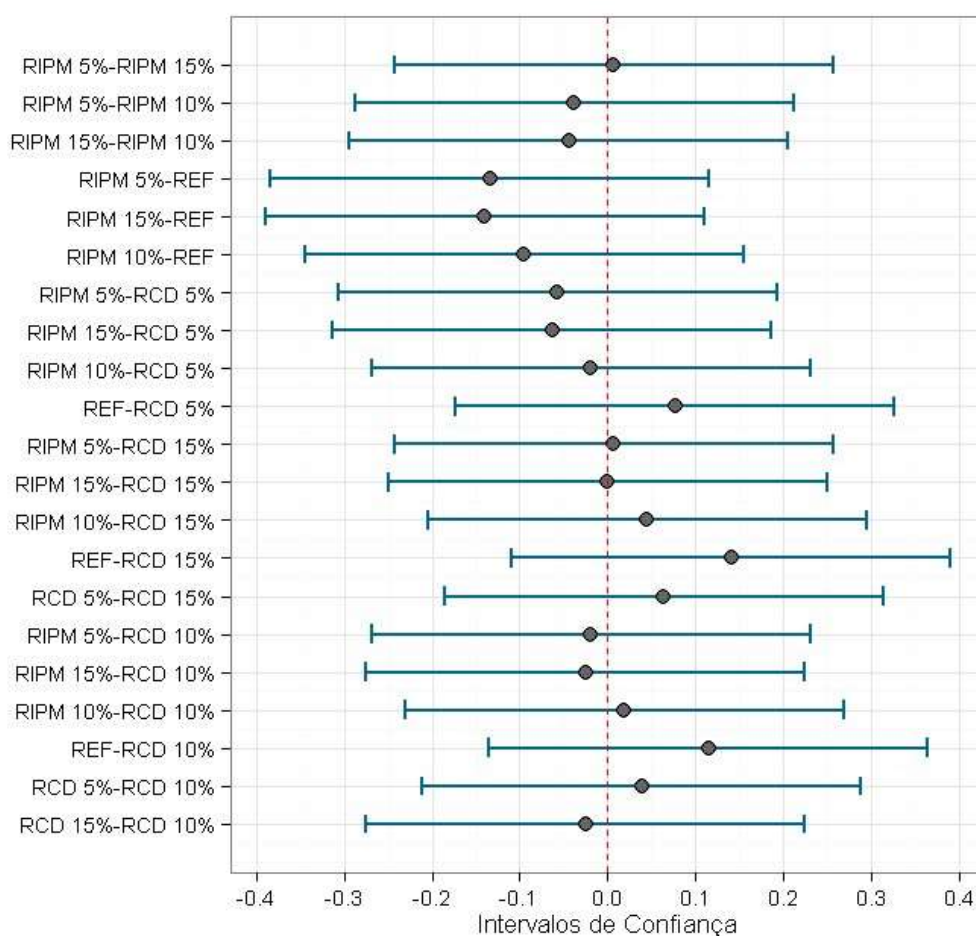


Figura 26 - Teste de Tukey resistência à tração por compressão diametral
Fonte: Autora

Por tanto, considerando que todos os traços enquadram-se na hipótese de igualdade entre as médias, pode-se dizer que a utilização de ambos os resíduos não influenciou no desempenho à tração por compressão diametral das misturas. Sendo assim, é possível recomendar a substituição de até 15% nos dois resíduos testados.

4.2.4 Absorção de água por capilaridade

Os resultados de absorção de água por capilaridade são expressos em g/cm^2 . A média da absorção na idade de 72 horas, o desvio padrão e o coeficiente de variação podem ser vistos na Tabela 24 e na Figura 27. No apêndice D são apresentados os valores de todas as medições do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Tabela 24 - Resultados de absorção de água por capilaridade

Traço	Média (g/cm ²)	Desvio Padrão (g/cm ²)	Coef. de Variação (%)
REF	2,55	0,02	0,61
RIMP 5%	2,60	0,05	1,82
RIMP 10%	2,60	0,02	0,60
RIMP 15%	2,60	0,03	1,26
RCD 5%	2,66	0,01	0,55
RCD 10%	2,62	0,02	0,88
RCD 15%	2,65	0,06	2,21

Fonte: Autora

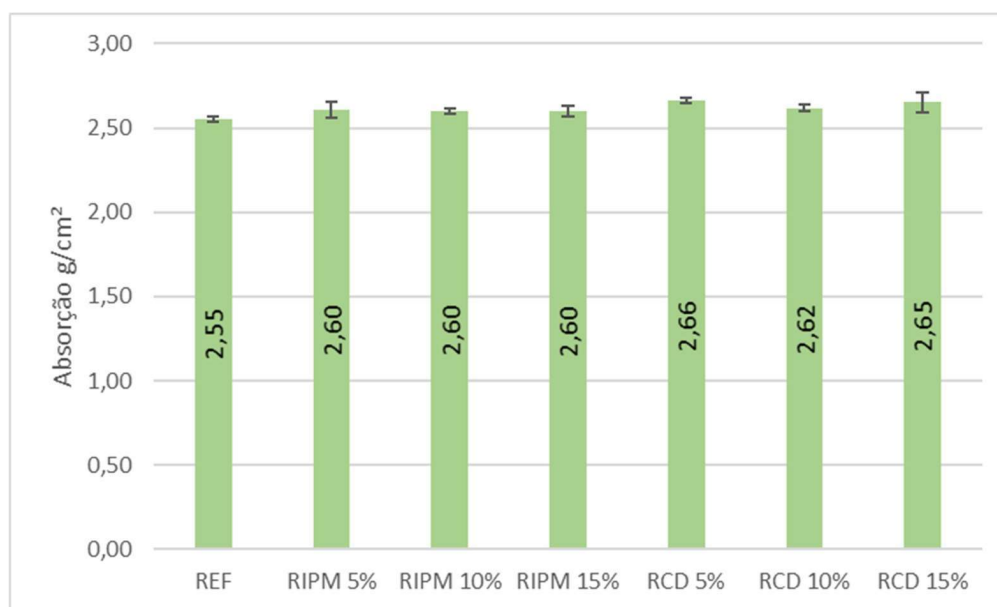


Figura 27 – Absorção de água por capilaridade das argamassas

Fonte: Autora

Analisando os resultados, constata-se que as argamassas confeccionadas com RCD apresentaram os maiores índices de absorção de água por capilaridade. Isto já era esperado tendo em vista os resultados do ensaio de caracterização de ambos os materiais, onde o RCD expressou maior absorção que o RIMP.

Além disso, no grupo de argamassa com RCD, observa-se que os teores de 5 e 15% apresentaram coeficientes de absorção superiores ao teor de 10%. Uma vez que o traço RCD 15% apresentou o maior coeficiente de variação entre as misturas testadas, nota-se que houve maior dispersão entre os resultados deste grupo. Fato

similar ocorreu no estudo de Canova (2017), onde autor verificou descontinuidade entre o teor de resíduo incorporado nas misturas e o coeficiente de absorção. Neste estudo, os teores de substituição de 5% e 20% do cimento por finos de britagem apresentaram absorção de água por capilaridade superior aos teores de substituição de 10 e 15%.

Já com relação às argamassas confeccionadas com RIPM, nota-se que todos os percentuais de substituição apresentaram o mesmo teor de absorção, o que indica que o percentual deste resíduo na mistura não influenciou no desempenho das mesmas.

Ao realizar a análise estatística, constatou-se diferença significativa entre, pelo menos, umas das misturas, como verifica-se na Tabela 25.

Tabela 25 - Análise ANOVA dos ensaios de absorção por capilaridade

Fonte	Soma Quadrada	G.L	Média Quadrada	F calculado	P -valor	F crítico
Traços	0,023567	6	0,003928	3,441558	0,026575	2,847726
Resíduos	0,015978	14	0,003928			

Fonte: Autora

Para identificar estas diferenças, as médias foram avaliadas pelo teste de Tukey com um nível de confiabilidade de 95%. Através desta análise, constatou-se que o traço RCD 10% e os três teores de substituição do RIPM são estatisticamente iguais ao traço de referência. A Figura 28 e a Tabela 26 mostram os detalhes desta análise.

Tabela 26 - Teste de Tukey dos resultados de absorção de água por capilaridade

Traços	72 horas
P-valor	
Análise REF - RIPM	
REF - RIPM 5%	0,577169
REF - RIPM 10%	0,649057
REF - RIPM 15%	0,684603
Análise RIPM - RIPM	
RIPM 5% - RIPM 10%	1
RIPM 5% - RIPM 15%	0,999995
RIPM 15% - RIPM 10%	1
Análise REF - RCD	
REF - RCD 5%	0,021701
REF - RCD 10%	0,291953
REF - RCD 15%	0,037883
Análise RCD - RCD	
RCD 5% - RCD 10%	0,719425
RCD 5% - RCD 15%	0,999902
RCD 15% - RCD 10%	0,87077
Análise RIPM – RCD	
RIPM 5% - RCD 5%	0,406421
RIPM 5% - RCD 10%	0,997245
RIPM 5% - RCD 15%	0,577169
RIPM 10% - RCD 5%	0,346172
RIPM 10% - RCD 10%	0,991932
RIPM 10% - RCD 15%	0,506311
RIPM 15% - RCD 5%	0,31828
RIPM 15% - RCD 10%	0,987355
RIPM 15% - RCD 15%	0,471948

Fonte: Autora

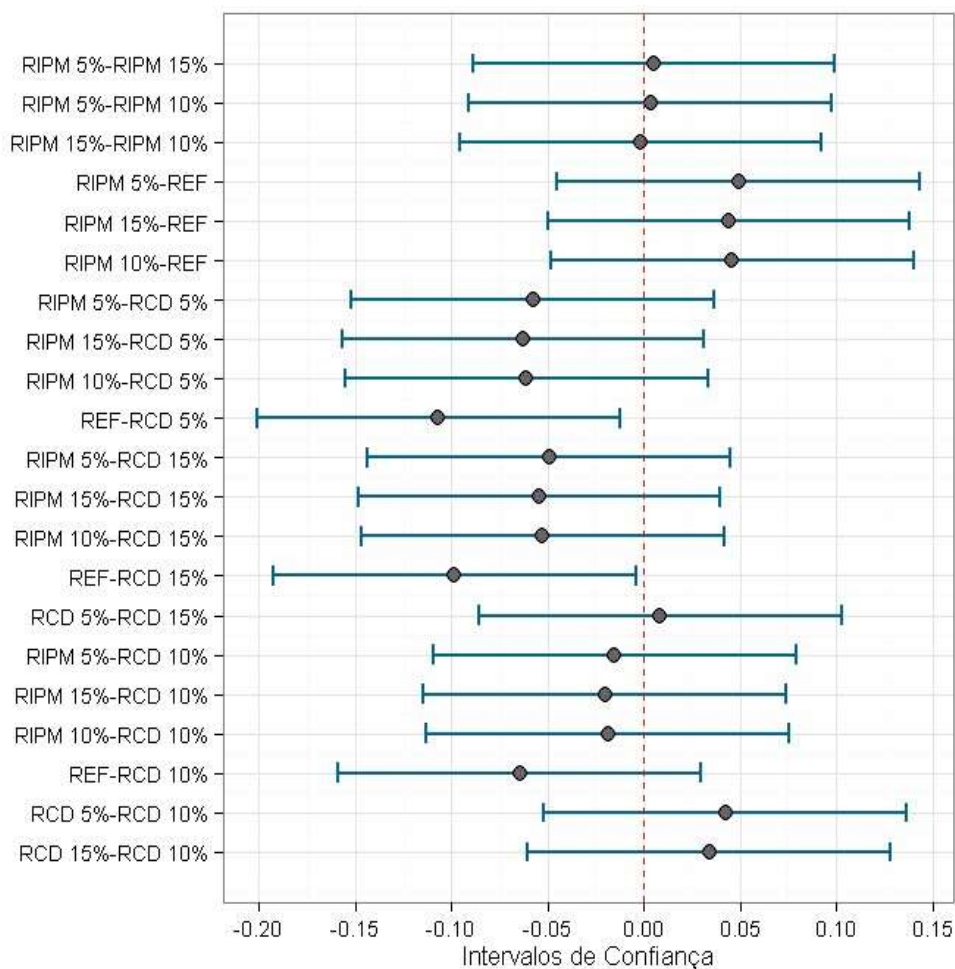


Figura 28 - Teste de Tukey absorção de água por capilaridade
Fonte: Autora

Os resultados são promissores e caminham ao encontro do estudo de Pinz (2019), o qual a autora verificou que o teor de substituição de 10 e 15% do RCV proporcionaram a confecção de argamassas estatisticamente iguais ao traço de referência e que o teor de 5% reduziu a absorção de água por capilaridade das misturas.

Da mesma forma que nos ensaios de desempenho mecânico, o resultado deste ensaio foi comparado com o estudo de Pinz (2019) por meio da análise estatística ANOVA e do teste de Tukey. Através destas avaliações, verificou-se que o coeficiente de absorção capilar das argamassas confeccionadas com RIPM e RCD são estatisticamente iguais ao traço com 15% de RCV.

Sendo assim, conclui-se que os três teores testados de RIPM e o traço RCD 10% não causam real interferência nas misturas, podendo ser utilizados como substitutos do cimento em argamassas.

4.2.5 Absorção por imersão e índice de vazios

Os resultados de absorção de água por imersão e os índices de vazios são mostrados na Tabela 27 e na Figura 29. Os resultados completos deste ensaio podem ser verificados no apêndice E.

Tabela 27 - Resultados de absorção por Imersão e Índices de Vazios

Traço	Absorção (%)			Índice de Vazios (%)		
	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação
REF	15,69	0,38	2,40	28,82	0,58	2,00
RIMP 5%	15,16	0,15	0,99	27,99	0,17	0,62
RIMP 10%	14,99	0,51	3,43	27,81	0,74	2,65
RIMP 15%	15,22	0,27	1,80	28,18	0,37	1,30
RCD 5%	14,81	0,28	1,91	27,59	0,39	1,40
RCD 10%	14,79	0,27	1,81	27,64	0,41	1,47
RCD 15%	14,91	0,06	0,41	27,75	0,15	0,54

Fonte: Autora

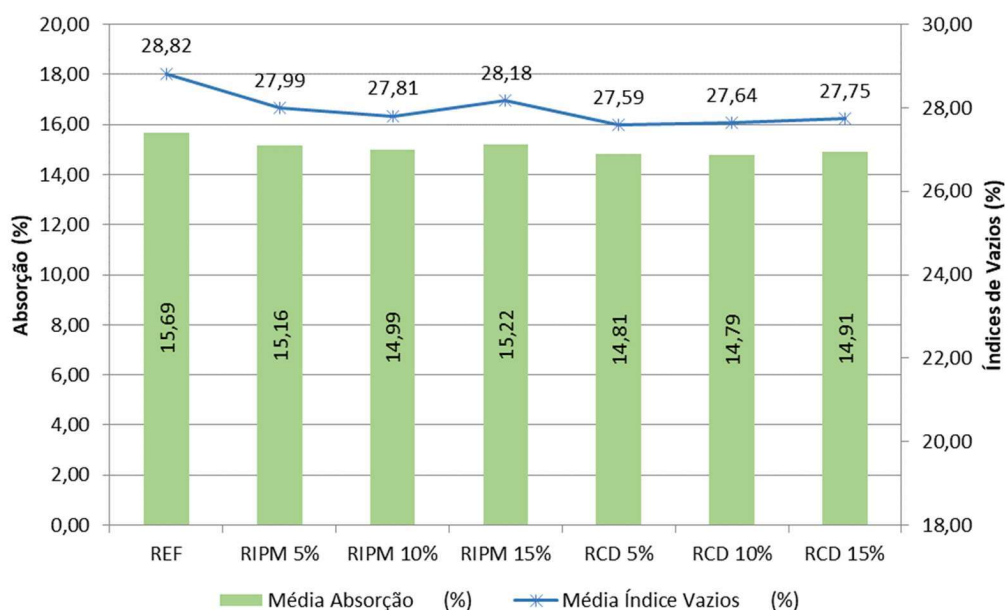


Figura 29 - Absorção de água por imersão e índices de vazios
Fonte: Autora

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que o teor de índices de vazios das misturas confeccionadas com RCD foi aumentando proporcionalmente ao resíduo incorporado. No entanto, em relação à absorção por imersão, este grupo não demonstrou relação direta com o teor de índices de vazios, já que o menor teor de absorção foi registrado pelo traço RCD 10%.

Entre as argamassas com RIPM, percebe-se a existência de correlação entre o teor de absorção por imersão e os índices de vazios das misturas. Entretanto, as substituições do RIPM apresentaram comportamento aleatório em relação ao teor de substituição de resíduos na mistura.

Os resultados do ensaio de absorção por imersão foram submetidos à análise estatística ANOVA e ao teste de Tukey, que demonstraram não haver diferenças significativas entre as argamassas testadas, conforme verifica-se na Tabela 28 e na Figura 30.

Tabela 28 - Análise ANOVA dos ensaios de absorção por imersão

Fonte	Soma Quadrada	G.L	Média Quadrada	F calculado	P -valor	F crítico
Traços	1,179954225	6	0,196659037	2,088107074	0,178860553	3,865969
Resíduos	0,65926	7	0,094180533			

Fonte: Autora

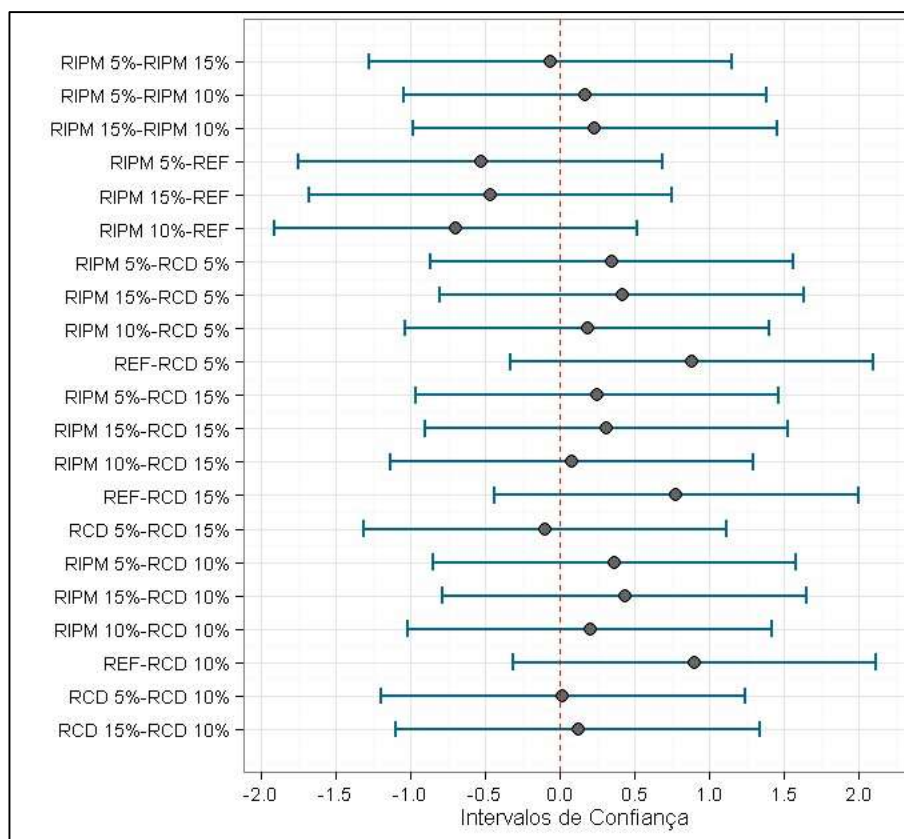


Figura 30 - Teste de Tukey para absorção por imersão

Fonte: Autora

Da mesma forma, os dados dos ensaios de índices de vazios foram analisados estatisticamente. O resultado da análise ANOVA, apresentado na Tabela 29, e o teste de Tukey, mostrado na Figura 31, confirma a hipótese de igualdade entre as médias.

Tabela 29 - Análise ANOVA dos ensaios de índices de vazios

Fonte	Soma Quadrada	G.L	Média Quadrada	F calculado	P -valor	F crítico
Traços	2,198866435	6	0,366477739	1,862197813	0,217368381	3,86596885
Resíduos	1,377589511	7	0,196798502			

Fonte: Autora

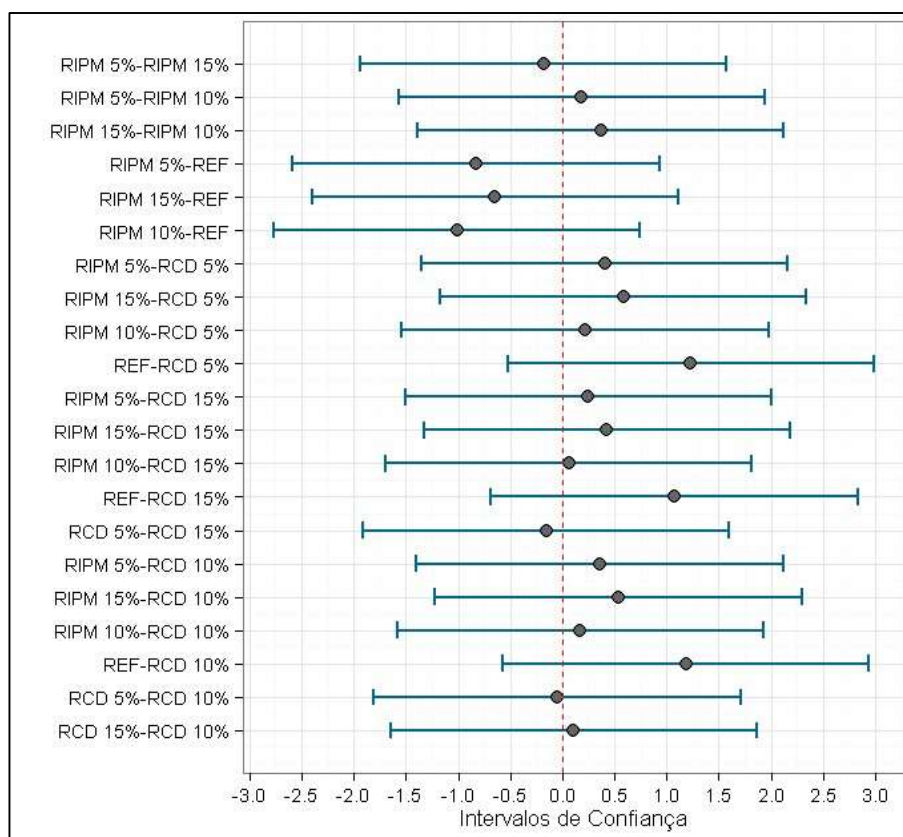


Figura 31 - Teste de Tukey para índices de vazios
Fonte: Autora

Assim sendo, é possível supor que os três teores de substituição dos dois resíduos testados não interferem estatisticamente no teor de absorção por imersão e no índice de vazios das misturas.

Analisando o estudo de Pinz (2019), nota-se um comportamento contrário. Nele, a autora constatou que o RCV, bem como, os diferentes teores de substituição interferem nas misturas, aumentando a porosidade do sistema.

Assim, com o intuito de equiparar os resíduos cimentícios e o resíduo cerâmico, realizou-se a análise ANOVA e o teste de Tukey, que confirmaram a diferença estatística entre as aferições do RCV quando comparado com os grupos RCD e RIPM.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos resultados, algumas considerações sobre a incorporação dos resíduos cimentícios como substituinte do cimento em argamassas podem ser feitas, dentre as quais serão especificadas logo abaixo.

Comparando o comportamento das argamassas estudadas, observa-se que a incorporação do RCD e do RIPM exerceram influência na resistência à compressão das argamassas. Aos sete dias, a incorporação do RCD nos três teores de substituição e o teor de 15% do RIPM proporcionaram a redução da resistência à compressão axial. No entanto, aos 28 dias os três teores de substituição do RIPM e o traço RCD 5% apresentaram igualdade estatística com o traço de referência. Já os traços RCD 10% e RCD 15% necessitaram de um tempo maior para atingir o mesmo desempenho do traço de referência, chegando neste parâmetro aos 63 dias. É importante destacar que, mesmo os traços que apresentaram resistência à compressão inferior ao traço de referência, todos os traços testados enquadraram-se dentro das classes propostas pela NBR 13281 (ABNT, 2005), o que viabiliza a aplicação mediante a indicação em projeto.

Os resultados obtidos para a resistência à tração na flexão mostraram que a substituição do cimento por RIPM e RCD não somente proporcionaram a confecção de argamassas com o mesmo desempenho que o traço de referência, mas também que o teor de substituição de 5% do RIPM melhorou o desempenho, com aumento de resistência de 89% em relação ao traço de referência. Do mesmo modo, o ensaio de resistência à tração por compressão diametral demonstrou a possibilidade da substituição dos três teores testados em ambos os resíduos, sem causar real interferência nas misturas.

Com relação aos parâmetros de desempenho físico, o ensaio de absorção de água por capilaridade demonstrou que a aplicação do RCD nos teores de 5 e 15% proporcionou o acréscimo da absorção de água por capilaridade nas argamassas. Já as argamassas confeccionadas com RIPM se comportaram da mesma forma que o traço de referência. No que diz respeito à absorção por imersão e índices de vazios, observa-se que ambos os resíduos apresentaram desempenho igual ao traço de referência.

Em suma, pode-se concluir que tanto os teores de substituição, quanto o tipo de resíduo podem influenciar nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas. Considerando todos os parâmetros avaliados, é possível sugerir que a substituição do cimento pelo RIPM com teores de substituição de até 15% é uma alternativa viável, pois proporcionam a confecção de argamassas de revestimento sustentáveis, com desempenho mecânico e físico equivalente ao traço de referência na idade de 28 dias.

5.1 Sugestões de trabalhos futuros

Sugere-se para a continuidade deste trabalho:

- Realizar a caracterização química dos resíduos;
- Analisar o desempenho mecânico das argamassas em idades mais avançadas;
- Acompanhar a durabilidade ao longo do tempo em protótipos de alvenaria argamassada;
- Avaliar o desempenho das argamassas quanto à aderência na tração e à absorção pelo método de cachimbo;
- Aprofundar o estudo sobre o efeito da substituição do cimento por resíduos;
- Testar a influência da substituição da cal por resíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIU, C; VARVARA, D.A.I; MANEA, D.L; ORBAN, Y.A; BABOTA, F. Recycling of plastic waste materials in the composition of ecological mortars. **Procedia Manufacturing**, v.22, p. 274–279, 2018.

AGUIAR, N. C; SOUZA, V.B; SILVA, A.S.P; AZEVEDO, A.R.G; MONTEIRO, S.N; ALEXANDRE, J. Utilização de resíduo de construção civil (RCC) na produção de argamassas. In: **73º Congresso Anual da ABM – Internacional**, realizada de 02 a 04 de outubro de 2018, São Paulo.

ALONSO, A.M.J. **Resíduos de vidro e resíduos de construção e demolição no cimento**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2016.

ANDRADE, J. J. O; SQUIAVON, J.Z; ORTULAN, T.L.P. Evaluation of mechanical properties and carbonation of mortars produced with construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, v. 161, p. 70-83, 2018.

APÓLINARIO, E.C.A. **Influência da adição do resíduo proveniente do corte de mármore e granito (RCGM) nas propriedades de argamassas de cimento Portland**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

ARAÚJO, N. N. **Desempenho de argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados oriundos do resíduo de construção e demolição da Grande Natal-RN**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

ARAÚJO, A. R. **Influência da utilização de resíduo de cerâmica vermelha nas propriedades de argamassas mistas**. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. 2000. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acessado em: 13/05/2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11172: Aglomerantes de origem mineral - Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 2p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT 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. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7214: Areia normal para ensaio de cimento - Especificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697: Cimento Portland - Requisitos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9935: Agregados - Terminologia.** Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 12p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 45: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios.** Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 15p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de resíduos sólidos.** NBR 10007. Rio de Janeiro, 2004. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos**. NBR 13281. Rio de Janeiro, 2005. 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. NBR 7222. Rio de Janeiro, 2011. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo - Determinação da absorção**. NBR NM 30. Rio de Janeiro, 2001. 6p.

ASSUNÇÃO, L. T; CARVALHO, G.F; BARATA, M.S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado. **Exata**, v. 5, n. 2, p. 223-230, São Paulo, jul/dez. 2007.

AZEVEDO, A. R. G; CECCHIN, D; CARMO, D.F; SILVA, F.C; CAMPOS, C.M.O; SHTRUCKA, T.G; MARVILA, M.T; MONTEIRO, S.N. Analysis of the compactness and properties of the hardened state of mortars with recycling of construction and demolition waste (CDW). **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, p. 5942-5952, mai/jun. 2020.

BATTAGIN, A. F. Cimento Portland. In: ISAIA, G. C (Org.). **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1ª ed. São Paulo, IBRACON, 2011.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Revisada, Rio de Janeiro, 2008

BIGOTTO, S. A. M; ASSUNÇÃO, C.C; TREVISAN, M; ALCÂNTARA, M.A.M. Produção de Argamassas com substituição parcial de areia natural por resíduos de PET. **Revista Científica**, v. 12, n. 25, 2019.

BORTOLETTO, M; GUIMARÃES, P.V.C; SILVA, R.G; AKASAKI, J.L. Avaliação do resíduo cinza da madeira de eucalipto como substituição parcial da areia em argamassas de cimento. **Revista Científica**, v. 10, n. 18, 2017.

BRAGA, M; BRITO, J; VEIGA, R. Reduction of the cement content in mortars made with fine concrete aggregates. **Materials and Structures**, publicação online, mar 2013.

CANOVA, J. A. Substituição do cimento por finos de britagem em argamassa de revestimento. **Ciência & Engenharia**, v. 26, p. 11-26, Uberlândia, jul/dez 2017.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2^aed. São Paulo, IBRACON, 2010. Vol.1. p. 893-943.

CARASEK, H; ARAÚJO, R.C; CASCUDO, O; ANGELIM, R. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, v. 21, n. 3, pp. 714 –732, 2016.

CARASEK, H; GIRARDI, A.C.C; ARAÚJO, R.C; ANGELIM, R; CASCUDO, O. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e revestimento. **Revista Cerâmica**, v. 64, n. 370, São Paulo, abr/mai, 2018.

CASTRO, T. R.; MARTINS, C. H. Avaliação da adição de cinzas do bagaço de cana-de-açúcar em argamassas mistas. **Ambiente Construído**, v. 16, n.3, Porto Alegre, jul/set, 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**, 05 de julho de 2002, Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acessado em: 30 out. 2020

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 348**, 17 de agosto de 2004, Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>>. Acessado em: 30 out. 2020

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 431**, 25 de maio de 2011, Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>>. Acessado em: 30 out. 2020

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 448**, 19 de janeiro de 2012, Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>>. Acessado em: 30 out. 2020

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 469**, 30 de julho de 2015, Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>>. Acessado em: 30 out. 2020

CINCOTTO, M. A; QUARCIONI, V.A; JOHN, V.M. Cal na construção civil. In: ISAIA, G. C (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 1^aed. São Paulo, IBRACON, 2007, v. 1, p. 695-726.

FERREIRA, R; BRUNO, G; ANJOS, M.A.S. Caracterização e estudo comparativo entre dosagens de argamassas para revestimento, utilizando resíduos da construção civil (RCC) oriundos da Grande Natal/RN. In: **II Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção sustentáveis**, 2016, São Pessoa.

FERREIRA, R. L. S. **Efeitos da incorporação de areia reciclada de resíduos de construção e demolição (RCD) em argamassas mistas de revestimento**. 2017. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

FONSECA, M. J. M; MAINTINGUER, S I. Aplicação da logística reversa na construção civil como mecanismo ambiental sustentável em políticas públicas. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 1, p. 140-149, Curitiba, jan. 2019.

FORMIGONI, M.W; GODINHO, D.S.S; JUNCA, E; ANTUNES, E.G.P. Substituição do cimento portland por resíduo de placa cerâmica em argamassa. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 16, n. 1, p. 62-67, São Paulo, jan./mar. 2019.

GHELLERE, P; THOMÉ, K; OLIVEIRA, D.R.B. Avaliação da influência do uso de resíduo de construção e demolição (RCD) nas propriedades da argamassa de revestimento. In: 2º **Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**, 28 a 30 de maio de 2019, Foz do Iguaçu.

HONGZHENG, L; HONGMEI, A; FANG, Y; LIDONG, H. Properties of mortar with recycled cement. **Applied Mechanics and Materials**, v. 193-194, p. 397-401, 2012.

JESUS, S; MAIA, C; FARINHA, C.B; BRITO, J; VEIGA, R. Rendering mortars with incorporation of very fine aggregates from construction and demolition waste. **Construction and Building Materials**, v. 229, 2019.

JOCHEM, L. F. **Estudo das argamassas de revestimento com RCD**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

HAGEMANN, S. E. **Apostila de Materiais de Construção Básicos**. Universidade Aberta do Brasil e Instituto Federal Sul-rio-grandense, 2011. Disponível em: <http://tics.ifsul.edu.br/matriz/conteudo/disciplinas/_pdf/apostila_mcb.pdf>, Acessado em: 10/05/2021

KIM, Y. J.; CHOI, Y. W. Utilization of waste concrete powder as a substitution material for cement. **Construction and Building Materials**, v. 30, p. 500-504, 2012.

KNOB, G. P. L; BELLEI, P; BARBISAN, A.O. Viabilidade Técnica da utilização do resíduo da construção civil para a produção de argamassa de revestimento. In: **Anais Engenharia civil UCEFF**, v. 3, n.1, 2019/1.

KRUGER, P; KOSSUTE, A.F; CHINELATTO, A.S.A; PEREIRA, E. Influência do teor de material pulverulento (<75 µm) do agregado miúdo de resíduos de construção e demolição em argamassas de cimento Portland. **Cerâmica**, v. 66, p. 507-515, São Paulo, 2020.

KURZ, M.N; BRANDELLI, T.M; PALIGA, C.M; TORRES, A.S. A potencialidade do uso de resíduo de borracha de pneu em argamassa: análise das propriedades físicas e mecânicas. **Matéria**, v. 23, n. 3, 2018.

LARUCCIA, M.M. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. **ENIAC Pesquisa**, v. 3, n. 1, p. 69-84, Guarulhos, jan.-jun. 2014.

LEMES, S. P. S. **Análise de Desempenho em Argamassa de Assentamento e de Revestimento com Incorporação de Cinza de Casca de Arroz em Alvenaria de Bloco Estrutural e de Vedação**. 2013. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 18, n.2, p. 169-176, abr/jun 2003.

LOPES, R. K; PIOVESAN, J.C; RIBEIRO, M.P; COSTA, F.M; JARDIM, P.I.G. Utilização de resíduo moído de vidro na substituição parcial do cimento Portland em argamassas. In: **60º Congresso Brasileiro do Concreto**, 17 a 21 de setembro de 2018, Foz do Iguaçu.

LUCAS, D.; BENATTI, C. T. Utilização de resíduos industriais para a produção de artefatos cimentícios e argilosos empregados na construção civil. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n.3, p. 405-418, set/dez. 2008.

NAKANISHI, E. Y. **Cinza residual da queima de biomassa do capim elefante (Pennisetum purpureum) como material pozolânico substituto do cimento Portland**. 2013. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MARQUES, M. L; SILVA, E.J; VELASCO, F.G; FORNARI JUNIOR, C.M. Potencialidades do uso de resíduos de celulose (DREGS/GRITS) como agregado em argamassas. **Revista Brasileira de produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 4, p. 423-431, Campina Grande, 2014.

MARTINEZ, P. S; CORTINA, M.G; MARTINEZ, F.F; SANCHEZ, A.R. 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.

MENEZES, R. R. et al. Reciclagem de resíduos da construção civil para a produção de argamassas. **Cerâmica**, v. 55, n. 335, São Paulo, Jul/Set. 2009.

MONTE JÚNIOR, I. V., 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.

MORALES, B. R. S. C. **Avaliação da Influência das Frações de Agregado Reciclado nas Propriedades das Argamassas de Revestimento**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PAULA, P.R.F. **Utilização dos resíduos da construção civil na produção de blocos de argamassa sem função estrutural**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2010.

PEREIRA, C.I.S. **Resíduos de construção e demolição como substituto parcial do cimento**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2015.

PIMENTEL, L. L; PISSOLATO JUNIOR, O; JACINTHO, A.E.P.G.A; MARTINS, H.L.S. Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – avaliação de características físicas e mecânicas. **Matéria**, v.23, Rio de Janeiro, mar 2018.

PINZ, F. P. **Influência do resíduo de cerâmica vermelha em argamassas na substituição parcial do agregado ou do cimento**. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland – Estudo em pasta**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

QUARCIONI, V. A; CHOTOLI, F.F; ÂNGULO, S.C; GUILGE, M.S; CAVANI, G.R; CASTRO A.L; CINCOTTO, M.A. Estimativa da porosidade de argamassas de cimento e cal pelo método de cálculo de volumes. **Ambiente Construído**, v. 9, n. 4, p. 175-187, Porto Alegre, out./dez. 2009.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2005.

ROCHA, A. S. C.; REZENDE, K. S. Análise da viabilidade de reutilização do material de demolição da construção civil voltada à produção de argamassas para revestimento. **UniScientiae**, v.1, p. 32-40, Viçosa, jan/jun. 2018.

ROCHA, T.S.V. **Resíduos de construção e demolição como substituto parcial do cimento – efeito na durabilidade em materiais cimentícios**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2016.

SAMADI, M. et al. Waste ceramic as low cost and eco-friendly materials in the production of sustainable mortars. **Journal of Cleaner Production**, v. 266, 2020.

SCHERER, C.B. **Avaliação de desempenho de argamassas modificadas com agregado finos de vidro**. 2019. Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019.

SILVA, A.F.C. **Resíduos de mármore e resíduos de construção e demolição no cimento**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2016.

SILVA, L. S.; NOGUEIRA, M.H.P; LIMA, G.K.M; CIPRIANO, F.S; BATISTA, N.J.J. Incorporação de resíduos de polimento de placas de mármore e granito em argamassas colantes industrializadas AC-I. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 4, Roraima, 2018.

SOUZA, J. S.; LEITE, M. B. Avaliação da produção e comportamento de argamassas com agregados reciclados de resíduo da construção e demolição. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p.79872-79887, Curitiba, out. 2020.

SPÓSITO, F. A. **Análises não destrutivas de argamassas mistas de revestimento com incorporação de resíduos de PET**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2020.

SÁ, M. V; MALHEIROS, A.J.A; SANTANA, C.G. A importância da resolução CONAMA 307 para a gestão dos resíduos sólidos da construção civil. **Centro de Estudos em Desenvolvimento Sustentável**, n. 9, ago/dez, 2018.

VALPORTO, M.S.; AZEVEDO, S. Gestão do design na identificação dos fatores de impactos ambientais da construção civil. **Estudos em Design**, v. 24, n. 1, p. 124-151, Rio de Janeiro, 2016.

VIEIRA, B. A; NOGUEIRA, L. Construção civil: Crescimento versus custos de produção. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v.13, n 3, p. 366-377, Rio de Janeiro, 2018.

VINAGRE, A. I. B. **Estudo comparativo entre argamassas de cal calcítica e de cal dolomítica: características mecânicas, físicas, mineralógicas e microestruturais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica). Universidade de Évora, Évora, 2015.

WICHROWSKA, K. K; KAZBERUK, M.K; PAWLUCZUK, E. The properties of composites with recycled cement mortar used as a supplementary cementitious material. **Materials**, vol. 13, n. 64, 2020.

ZANOLLA, I. M. F. **Influência dos teores relativos de materiais em argamassas de revestimento com areia natural de rio e fíler de aglomerante calcário com distribuição granulométrica similar**. 2016. Artigo (Especialização em Patologias nas obras civis), Universidade do Vale dos Sinos, São Leopoldo, 2016.

APÊNDICES

Apêndice A – Resultados dos ensaios de resistência à compressão axial

Resistência à compressão axial – 7 dias											
Traço	Carga (kN)				Tensão (MPa)					Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	Média		
REF	3,90	3,60	3,60	4,00	1,99	1,83	1,83	2,04	1,92	0,10	0,05
RIPM 5%	3,50	3,30	3,50	3,50	1,78	1,68	1,78	1,78	1,76	0,05	0,03
RIPM 10%	3,60	3,30	3,70	3,60	1,83	1,68	1,88	1,83	1,81	0,09	0,05
RIPM 15%	3,00	3,20	3,60	3,30	1,53	1,63	1,83	1,68	1,67	0,13	0,08
RCD 5%	3,40	3,00	3,20	3,10	1,73	1,53	1,63	1,58	1,62	0,09	0,05
RCD 10%	3,00	3,30	2,70	2,90	1,53	1,68	1,38	1,48	1,52	0,13	0,08
RCD 15%	3,10	2,80	3,00	3,00	1,58	1,43	1,53	1,53	1,52	0,06	0,04

Resistência à compressão axial - 28 dias											
REF	13,60	10,80	10,90	13,10	6,93	5,50	5,55	6,67	6,16	0,74	0,12
RIPM 5%	10,90	9,50	11,40	12,30	5,55	4,84	5,81	6,26	5,61	0,60	0,11
RIPM 10%	10,80	10,90	10,00	10,30	5,50	5,55	5,09	5,25	5,35	0,22	0,04
RIPM 15%	9,60	10,40	10,40	10,30	4,89	5,30	5,30	5,25	5,18	0,20	0,04
RCD 5%	12,60	11,10	12,30	13,10	6,42	5,65	6,26	6,67	6,25	0,43	0,07
RCD 10%	9,30	10,30	10,00	10,40	4,74	5,25	5,09	5,30	5,09	0,25	0,05
RCD 15%	10,60	9,40	10,50	9,50	5,40	4,79	5,35	4,84	5,09	0,32	0,06

Resistência à compressão axial - 63 dias											
REF	18,30	20,60	21,60	15,80	9,32	10,49	11,00	8,05	9,71	1,32	0,14
RIPM 5%	14,40	15,00	15,60	15,00	7,33	7,64	7,94	7,64	7,64	0,25	0,03
RIPM 10%	15,50	14,40	15,00	14,80	7,89	7,33	7,64	7,54	7,60	0,23	0,03
RIPM 15%	13,40	14,00	16,20	13,40	6,82	7,13	8,25	6,82	7,26	0,68	0,09
RCD 5%	17,90	19,60	21,70	19,60	9,12	9,98	11,05	9,98	10,03	0,79	0,08
RCD 10%	15,00	17,40	17,40	17,30	7,64	8,86	8,86	8,81	8,54	0,60	0,07
RCD 15%	16,90	16,60	16,30	18,30	8,61	8,45	8,30	9,32	8,67	0,45	0,05

Apêndice B – Resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão

Resistência à tração na flexão - 28 dias									
Traço	Carga (kN)			Tensão (MPa)				Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	Média		
REF	0,90	0,90	0,80	2,32	2,32	2,06	2,23	0,15	0,07
RIPM 5%	1,60	1,80	1,50	4,13	4,64	3,87	4,21	0,39	0,09
RIPM 10%	1,90	1,50	1,20	4,90	3,87	3,09	3,95	0,91	0,23
RIPM 15%	1,40	1,50	1,70	3,61	3,87	4,38	3,95	0,39	0,10
RCD 5%	1,30	1,40	1,20	3,35	3,61	3,09	3,35	0,26	0,08
RCD 10%	1,20	1,50	1,50	3,09	3,87	3,87	3,61	0,45	0,12
RCD 15%	0,40	1,40	1,20	1,03	3,61	3,09	2,58	1,36	0,53

Apêndice C – Resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral

Resistência à tração por compressão diametral - 28 dias							
Traço	Carga (kN)		Tensão (MPa)			Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
	CP 1	CP 2	CP 1	CP 2	Média		
REF	6,10	6,70	0,78	0,85	0,81	0,05	0,07
RIPM 5%	5,10	5,60	0,65	0,71	0,68	0,05	0,07
RIPM 10%	6,30	5,00	0,80	0,64	0,72	0,12	0,16
RIPM 15%	5,70	4,90	0,73	0,62	0,67	0,07	0,11
RCD 5%	5,60	6,00	0,71	0,76	0,74	0,04	0,05
RCD 10%	5,70	5,30	0,73	0,67	0,70	0,04	0,05
RCD 15%	5,10	5,50	0,65	0,70	0,67	0,04	0,05

Apêndice D – Resultados dos ensaios de absorção por capilaridade

Absorção por Capilaridade – 28 dias													
TRAÇO		Ms (g)	Msat (g)					S (cm²)	C (g/cm²)				
			3h	6h	24h	48h	72h		3h	6h	24h	48h	72h
REF	CP 1	361,30	398,00	409,50	410,50	411,10	411,40	19,64	1,87	2,45	2,51	2,54	2,55
	CP 2	360,20	397,10	407,70	409,30	409,80	410,10	19,64	1,88	2,42	2,50	2,53	2,54
	CP 3	361,00	392,10	402,80	410,90	411,30	411,50	19,64	1,58	2,13	2,54	2,56	2,57
								Média	1,78	2,33	2,52	2,54	2,55
RIPM 5%	CP 1	355,70	406,40	406,50	407,30	407,70	407,90	19,64	2,43	2,44	2,48	2,50	2,51
	CP 2	363,50	412,70	412,90	413,50	413,90	414,20	19,64	2,80	2,81	2,84	2,86	2,88
	CP 3	357,20	405,70	406,20	406,90	407,40	407,70	19,64	2,45	2,48	2,51	2,54	2,55
								Média	2,56	2,58	2,61	2,63	2,65
RIPM 10%	CP 1	361,40	410,90	411,10	411,80	412,20	412,40	19,64	2,66	2,67	2,71	2,73	2,74
	CP 2	371,60	421,40	421,60	422,20	422,70	423,00	19,64	3,24	3,25	3,28	3,31	3,33
	CP 3	359,40	408,50	408,70	409,40	410,00	410,20	19,64	2,59	2,60	2,64	2,67	2,68
								Média	2,83	2,84	2,88	2,90	2,91
RIPM 15%	CP 1	361,50	411,20	411,40	412,10	412,50	412,80	19,64	2,68	2,69	2,72	2,75	2,76
	CP 2	360,30	408,90	409,20	409,90	410,30	410,60	19,64	2,61	2,62	2,66	2,68	2,69
	CP 3	359,40	408,50	409,50	410,20	410,50	410,90	19,64	2,59	2,64	2,68	2,69	2,71
								Média	2,63	2,65	2,69	2,71	2,72
RCD 5%	CP 1	358,60	407,80	409,30	410,00	410,40	410,70	19,64	2,51	2,58	2,62	2,64	2,65
	CP 2	357,70	408,70	409,00	409,60	410,10	410,30	19,64	2,60	2,61	2,64	2,67	2,68
	CP 3	357,60	408,10	408,20	408,90	409,40	409,70	19,64	2,57	2,58	2,61	2,64	2,65
								Média	2,56	2,59	2,62	2,65	2,66
RCD 10%	CP 1	368,10	415,50	418,70	419,50	419,80	420,00	19,64	2,90	3,06	3,10	3,12	3,13
	CP 2	361,40	410,30	411,20	411,80	412,20	412,40	19,64	2,68	2,72	2,76	2,78	2,79
	CP 3	357,40	401,50	407,40	408,00	408,60	408,80	19,64	2,24	2,54	2,57	2,60	2,61
								Média	2,60	2,77	2,81	2,83	2,84
RCD 15%	CP 1	360,10	410,60	410,90	411,50	411,90	412,10	19,64	2,65	2,66	2,69	2,71	2,72
	CP 2	359,10	408,60	408,70	409,50	409,70	410,10	19,64	2,59	2,60	2,64	2,65	2,67
	CP 3	355,50	373,10	379,80	401,20	408,50	408,80	19,64	0,79	1,13	2,22	2,59	2,61
								Média	2,01	2,13	2,52	2,65	2,67

Imagem dos corpos de prova rompidos após ensaio de capilaridade





Apêndice E – Resultados dos ensaios de absorção por imersão e índices de vazios

REF								
Amostra	Massa Seca	Massa Saturada	Massa Imersa	Absorção Imersão	Índice de Vazios	Massa Específica Seca	Massa Específica Saturada	Massa Específica Real
CP 1	352,10	406,40	215,30	15,42	28,41	1,84	2,13	2,57
CP 2	346,60	401,90	212,70	15,95	29,23	1,83	2,12	2,59
Média	349,35	404,15	214,00	15,69	28,82	1,84	2,13	2,58
RIMP 5%								
CP 1	351,50	404,40	214,60	15,05	27,87	1,85	2,13	2,57
CP 2	348,60	401,80	212,60	15,26	28,12	1,84	2,12	2,56
Média	350,05	403,10	213,60	15,16	27,99	1,85	2,13	2,57
RIMP 10%								
CP 1	348,70	399,70	212,80	14,63	27,29	1,87	2,14	2,57
CP 2	349,10	402,70	213,50	15,35	28,33	1,85	2,13	2,57
Média	348,90	401,20	213,15	14,99	27,81	1,86	2,13	2,57
RIMP 15%								
CP 1	352,00	404,90	215,40	15,03	27,92	1,86	2,14	2,58
CP 2	347,70	401,30	212,80	15,42	28,44	1,84	2,13	2,58
Média	349,85	403,10	214,10	15,22	28,18	1,85	2,13	2,58
RCD 5%								
CP 1	359,80	413,80	220,00	15,01	27,86	1,86	2,14	2,57
CP 2	353,20	404,80	215,90	14,61	27,32	1,87	2,14	2,57
Média	356,50	409,30	217,95	14,81	27,59	1,86	2,14	2,57
RCD 10%								
CP 1	353,80	406,80	217,00	14,98	27,92	1,86	2,14	2,59
CP 2	356,80	408,90	218,40	14,60	27,35	1,87	2,15	2,58
Média	355,30	407,85	217,70	14,79	27,64	1,87	2,14	2,58
RCD 15%								
CP 1	353,80	406,40	216,10	14,87	27,64	1,86	2,14	2,57
CP 2	351,10	403,60	215,10	14,95	27,85	1,86	2,14	2,58
Média	352,45	405,00	215,60	14,91	27,75	1,86	2,14	2,58