

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA BECKER FURTADO

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR
RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS
PARA REVESTIMENTO**

GUARAPUAVA

2021

GABRIELA BECKER FURTADO

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR
RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS
PARA REVESTIMENTO**

**INFLUENCE OF REPLACEMENT OF NATURAL THIN AGGREGATE BY RED
CERAMIC RESIDUE ON THE PRODUCTION OF MORTARS FOR COATINGS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof. Me. Marcela Maier Farias Czap

Coorientadora: Prof. Me. Géssica Katalyne Bilcati

GUARAPUAVA

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIELA BECKER FURTADO

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DO AGREGADO MIÚDO NATURAL POR
RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS
PARA REVESTIMENTO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30 de novembro de 2021

Marcela Maier Farias Czap
Mestra em Construção Civil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Géssica Katalyne Bilcati
Mestra em Materiais e Componentes da Construção
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rafaella Salvador Paulino
Mestra em Engenharia de Edificações e Saneamento
Faculdade Guarapuava

GUARAPUAVA

2021

Dedico este trabalho aos meus pais, Vera e Neilson pelo amor, apoio, incentivo e compreensão durante esta importante etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, por me dar forças em todos os momentos e por tudo o que conquistei e o que hei de conquistar.

Aos meus pais, Vera Becker e Neilson Furtado pelo amor incondicional, pelo incentivo e investimento em minha educação e pelos sacrifícios que fizeram para que eu chegasse até aqui. Amo vocês para todo o sempre.

Ao meu melhor amigo e amor Sidney Neto, pelo companheirismo, paciência, amizade, amor, e por me fazer acreditar no meu potencial.

A minha querida orientadora, Professora Mestra Marcela Czap, pela sua disponibilidade, interesse e receptividade com que me recebeu e pela prestatividade com que me ajudou, fazendo deste trabalho uma experiência positiva.

A minha admirada coorientadora, Professora Mestra Géssica Bilcati, que me incentivou em todos os momentos desse trabalho, sempre com muita paciência e sabedoria, transmitindo seus conhecimentos para fazer com que essa pesquisa fosse engrandecedora.

A minha professora e técnica de laboratório Rafaella Salvador por todo o apoio prestado durante a realização dos ensaios.

Ao engenheiro e amigo Fabiano Ferreira, que foi como uma luz em minha vida, me dando inspiração profissional e pessoal.

A minha amiga e irmã de coração Ana Espinoza, por estar sempre disposta a me ajudar em qualquer circunstância, obrigada por me mostrar o que é uma amizade verdadeira e inabalável. A distância dói, mas ela também fortalece o que é real.

A minha amiga Alessandra, por estar comigo nos momentos bons e ruins, por deixar sempre seu ombro a disposição do meu choro. Por me entender em uma troca de olhares e por me ensinar tanto todos os dias.

Aos meus amigos Matheus Lacerda, Dielson Ferreira e Luana Tiemi, pelo apoio, companheirismo e amizade verdadeira ao longo desses anos de jornada acadêmica e por tornarem dias de estudo em um tempo agradável e de qualidade.

A minha amiga Esteffany Candeo, pela amizade e companheirismo.

Por fim, gratidão a todos que passaram pela minha vida. Cada pedaço do universo de vocês depositados em mim, me tornou quem sou.

Você tem que ser o espelho da mudança que está
propondo. Se eu quero mudar o mundo, tenho
que começar por mim.
(Mahatma Gandhi)

RESUMO

Com o propósito de mitigar impactos ambientais gerados tanto pela indústria cerâmica, como pela construção civil, o presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica da utilização dos resíduos de materiais cerâmicos, como material alternativo para a produção de argamassas de revestimento. Dessa forma, a metodologia deste trabalho foi desenvolvida a partir da produção das argamassas de revestimento com substituição do agregado miúdo natural pelo resíduo de cerâmica vermelha nas proporções de 0%, 20%, 50% e 100% do agregado miúdo, avaliando o desempenho no estado fresco e endurecido das argamassas. No estado fresco, as substituições reduziram o espalhamento e a densidade de massa das argamassas, conforme mostraram os ensaios. Já no estado endurecido as substituições de 50% e 100%, influenciaram positivamente, tanto na resistência à compressão, quanto na resistência à tração na flexão, aumentando significativamente, pela análise estatística, em comparação com as argamassas de referência.

Palavras-chave: construção civil; resíduo; espalhamento; resistência.

ABSTRACT

In order to mitigate environmental impacts generated both by the ceramic industry and by civil construction, the present work aims to analyze the technical feasibility of using ceramic waste as an alternative material for the production of coating mortars. Therefore, the methodology of this work was developed by producing coating mortars with the replacement of natural fine aggregate by red ceramic waste in the proportions of 0%, 20%, 50% and 100% of fine aggregate, evaluating its performance in the fresh and hardened state of the mortars. In the fresh state, the replacements reduced the spreading and the mass density of the mortars, as shown in the tests. In the hardened state, on the other hand, the substitutions of 50% and 100% positively influenced both the compressive strength and the flexural tensile strength, increasing significantly, by statistical analysis, in comparison with the reference mortars.

Keywords: civil construction; waste product; spreading; resistance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Camadas do revestimento em argamassas.....	19
Figura 2 - Solicitações sobre o sistema de revestimento	23
Figura 3 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto	26
Figura 4 - Análise estatística entre médias para tração (Tukey)	56
Figura 5 - Análise estatística entre médias para compressão – (Tukey).....	58
Fotografia 1 - Caçambas de entulho em áreas já edificadas	15
Fotografia 2 - Resíduos cerâmicos recolhidos de uma obra em Guarapuava/PR.....	28
Fotografia 3 - Resíduo cerâmico utilizado na produção das argamassas	28
Fotografia 4 - Argamassadeira Planetária	37
Fotografia 5 - Espalhamento da argamassa.....	38
Fotografia 6 - Corpos de prova.....	40
Fotografia 7 - Ensaio de resistência à tração na flexão na A100	42
Fotografia 8 - Ensaio de resistência à tração na flexão na REF.....	43
Fotografia 9 - Corpos de prova após o ensaio de resistência à tração na flexão	43
Fotografia 10 - Ensaio de resistência à compressão REF	44
Fotografia 11 - Ensaio de resistência à compressão A50	45
Gráfico 1- Produção de agregados de acordo com o ano	24
Gráfico 2 - Curvas granulométricas da areia e da cerâmica vermelha	46
Gráfico 3 Limites de utilização do agregado miúdo	47
Gráfico 4 - Curvas de inchamento dos agregados	49
Gráfico 5 - Índice de consistência das argamassas	50
Gráfico 6 - Densidade de massa no estado fresco.....	51
Gráfico 7 – Absorção de água por imersão das argamassas.....	53
Gráfico 8 - Índices de vazios das argamassas	54
Gráfico 9 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias	54
Gráfico 10 - Resistência à compressão aos 28 dias	56

Quadro 1 - Propriedades da argamassa	23
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos Cimentos Portland.....	21
Tabela 2 - Ensaio de caracterização dos agregados.....	30
Tabela 3 - Propriedades físicas dos materiais.....	36
Tabela 4 - Traços das argamassas.....	35
Tabela 5 - Análise granulométrica dos agregados.....	46
Tabela 6 - Limites granulométricos de agregado miúdo.....	47
Tabela 7 - Propriedades físicas dos agregados.....	48
Tabela 8 - Classificação das argamassas quanto a densidade de massa.....	52
Tabela 9 - Classificação das argamassas estudadas (densidade de massa).....	52
Tabela 10 - Classificação quanto a resistência a compressão.....	57
Tabela 11 - Classificação das argamassas estudadas (Compressão).....	57
Tabela 12 - Classificação quanto a resistência à tração na flexão.....	55
Tabela 13 - Classificação das argamassas estudadas (Tração).....	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivos específicos	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC).....	14
2.2 RESÍDUOS DA CERÂMICA VERMELHA.....	15
2.3 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELA DISPOSIÇÃO INCORRETA DOS RCC	16
2.4 RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	17
2.5 UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CERÂMICA EM ARGAMASSAS	18
2.6 ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO.....	18
2.6.1 Classificação.....	19
2.6.1.1 Chapisco	19
2.6.1.2 Emboço	20
2.6.1.3 Reboco.....	20
2.6.1.4 Massa única	20
2.6.2 Composição da Argamassa	20
2.6.2.1 Cimento Portland	20
2.6.2.2 Cal hidratada.....	21
2.6.2.3 Agregado miúdo.....	21
2.6.2.4 Água.....	22
2.6.3 Propriedades da Argamassa de Revestimento.....	22
2.7 AGREGADOS NATURAIS	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 MATERIAIS.....	27
3.1.1 Cimento	27
3.1.2 Cal	27

3.1.3 Agregado reciclado (Resíduo de cerâmica vermelha)	27
3.1.4 Agregado Natural (Areia)	29
3.1.5 Água	29
3.2 MÉTODOS.....	29
3.2.1 Variáveis do programa experimental	29
3.2.2 Caracterização dos agregados	30
3.2.2.1 Ensaio de determinação da composição granulométrica.....	30
3.2.2.2 Ensaio de determinação da massa unitária e do volume de vazios.....	31
3.2.2.3 Ensaio de determinação da massa específica.....	32
3.2.2.4 Ensaio de determinação de absorção de água.....	32
3.2.2.5 Ensaio de determinação do inchamento do agregado miúdo	33
3.2.3 Produção das argamassas.....	35
3.2.4 Propriedades das argamassas no estado fresco	37
3.2.4.1 Ensaio de determinação do índice de consistência	37
3.2.4.2 Ensaio de densidade de massa	38
3.2.5 Propriedades das argamassas no estado endurecido	39
3.2.5.1 Moldagem dos corpos de prova	39
3.2.5.2 Ensaio de determinação da absorção de água	40
3.2.5.3 Ensaio de resistência à tração na flexão.....	41
3.2.5.4 Ensaio de resistência à compressão.....	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS.....	46
4.1.1 Composição granulométrica	46
4.1.2 Propriedades dos agregados.....	48
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO.....	50
4.2.1 Consistência das argamassas	50
4.2.2 Densidade de massa	51
4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	53
4.3.1 Absorção de água e índice de vazios	53

4.3.2 Resistência à tração na flexão	54
4.3.3 Resistência à compressão	56
5 CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

As argamassas para revestimento desempenham um papel importante na conservação dos edifícios, uma vez que ajudam a proteger contra ações climáticas, choques mecânicos e afetam o conforto térmico, acústico e a durabilidade dos edifícios (SALOMÃO *et al.*, 2017). No entanto, devido ao grande volume gerado, e ao grande consumo de matéria-prima, a indústria da construção é pressionada para mitigar o impacto ambiental gerado (LINTZ *et al.*, 2012).

Uma das alternativas para minimizar tais impactos é a utilização de uma variedade de resíduos. Contudo, empregar resíduos em matrizes frágeis, como cimento, tem sido um desafio devido à degradação de argamassas e concretos (CAO *et al.*, 2015).

É conhecido que a indústria da cerâmica vermelha é responsável pela produção de uma grande variedade de materiais, como blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos maciços e revestimentos cerâmicos (CABRAL JUNIOR *et al.*, 2011). Como consequência de sua atividade, um grande volume de resíduos é gerado, devido à quebra das peças, à existência de não conformidades, à queima irregular no momento de fabricação, entre outros (QUEIROZ NETO *et al.*, 2016).

Orth, Baldin e Zanotelli (2014), ressaltam que a produção de resíduos industriais, como os da cerâmica vermelha, retrata uma das principais formas de degradação do meio ambiente, pois a disposição final incorreta desses resíduos, gera problemas de obstrução e contaminação de leitos de rios, comprometimento do tráfego nas vias públicas, degradação da paisagem das cidades, poluição do ar causada pelos veículos necessários para realizar o transporte desses resíduos, entre outros.

Em 2002, a fim de minimizar esses impactos ambientais gerados pela indústria da cerâmica vermelha, foi publicada a Resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 2020), que estabelece que os resíduos de cerâmica vermelha devem ser reutilizados na forma de agregados ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, de modo a permitir sua utilização ou reciclagem futura.

Uma forma de reutilizar os resíduos da construção civil, inclusive os da cerâmica vermelha, é a incorporação dos mesmos como substituição ao agregado em argamassas para revestimento, diminuindo assim o volume de resíduo disposto no

meio ambiente, a extração de agregados naturais e o impacto ambiental decorrente dessas atividades.

Nesse sentido, essa pesquisa visa verificar a viabilidade para o reaproveitamento dos resíduos da cerâmica vermelha na confecção de argamassas para revestimento. Desta forma, promovendo a transformação do cenário brasileiro para a geração de materiais de qualidade a partir de processos produtivos mais sustentáveis.

1.1 Objetivos

Avaliar o desempenho de argamassas para revestimento produzidas com 0%, 20%, 50% e 100% de resíduo de cerâmica vermelha em substituição ao agregado miúdo natural.

1.1.1 Objetivos específicos

- Caracterizar fisicamente o resíduo de cerâmica vermelha (RCV);
- Caracterizar fisicamente as argamassas desenvolvidos de acordo com a normatização técnica;
- Avaliar as propriedades físicas das argamassas produzidas;
- Avaliar as propriedades mecânicas das argamassas para revestimento produzidas com RCV em substituição do agregado miúdo;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos da construção civil (RCC)

A indústria da construção civil tem destaque na economia nacional, visto que é responsável por cerca de 15% do Produto Interno Bruto e emprega cerca de 4 milhões de pessoas diretamente (SOUZA, 2005).

Todavia, também é uma grande geradora de resíduos, estes geralmente produzidos em decorrência da grande quantidade de perdas e desperdícios (NOVAES; MOURÃO, 2008).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307, promulgada em 2002, resíduos da construção civil são definidos como sendo:

[...] os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha. (BRASIL, 2002, p. 1).

Nesse sentido, segundo Novaes e Mourão (2008), os principais resíduos gerados são os resíduos de argamassa, demolição de alvenarias, pisos cerâmicos, concreto, piso de granito e tijolos quebrados.

No Brasil, estima-se que os resíduos resultantes da construção, reformas e demolição de casas e edifícios represente cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos das grandes cidades (PINTO, 1999).

E esse número só está aumentando. Segundo Abrelpe (2020), a quantidade de resíduos de construção e demolição coletados foram de 33 milhões de toneladas em 2010 para 44,5 milhões de toneladas em 2019.

Para Fernandes (2014), isso se deve aos diversos problemas enfrentados, que vão desde a falta de planejamento e gerenciamento, até a mão de obra desqualificada, gerando erros durante a execução.

A Fotografia 1 representa uma cena muito comum, a presença de caçambas estacionadas em várias quadras, para a retirada dos resíduos, compõe a paisagem nos centros urbanos atuais (SOUZA,2005).

Fotografia 1 - Caçambas de entulho em áreas já edificadas



Fonte: Souza (2005)

2.2 Resíduos da cerâmica vermelha

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica Para Revestimento (ANFACER) (2021), desde de 2016 o Brasil está entre os principais produtores mundiais de cerâmica, ficando atrás apenas da China e da Espanha.

Ainda, segundo Bustamante e Bressiani (2020), a indústria cerâmica brasileira tem grande importância para o país, tendo participação no PIB da ordem de 1,0%, desta forma, sendo um dos setores da construção civil com maior participação no Produto Interno Bruto (PIB).

Em contrapartida, o processo de fabricação da cerâmica já começa com a utilização de um recurso natural não renovável, visto que os produtos cerâmicos tem como matéria-prima a argila, e grande parte das argilas utilizadas na indústria cerâmica são naturais, sendo encontradas em depósitos na crosta terrestre (ABCERAM, 2021).

Após a extração, a argila é laminada e destorroada, com a finalidade de diminuir sua granulometria. Em seguida, a pasta de argila é laminada pela segunda vez, com água e aditivos, os quais tem a finalidade de corrigir as características químicas e mineralógicas da massa, melhorando assim a trabalhabilidade. Com a massa em perfeitas condições de plasticidade, é feita a moldagem do produto cerâmico através de máquinas extrusoras, seguido do corte e secagem. Por fim, os produtos são cozidos a temperaturas entre 800°C e 1000°C (ABCERAM, 2021).

Entre todas essas etapas de produção podem ocorrer quebras, trincas, fissuras, empenamentos e variações dimensionais que tornam as cerâmicas desconformes em relação às normas técnicas, alterando o resultado do produto final desejado. Geralmente essas imperfeições ocorrem em consequência da falta de controles do processo e da pouca ou nenhuma qualificação da mão de obra (SILVA, 2009).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (2009), as perdas no pós-queima podem variar de 5% (nas indústrias onde é aplicada uma tecnologia mais moderna) a 20% (nas indústrias defasadas tecnologicamente). No Brasil, devido as desigualdades tecnológicas entre as indústrias cerâmicas, estima-se um valor médio de perdas de cerca de 10%.

Apesar de algumas empresas retornarem essas peças fora de padrão para o processo produtivo, a maioria não o faz, pois consideram um retrabalho que requer tempo, mão de obra, dinheiro e energia extra, além de provocar o desgaste dos equipamentos (SILVA, 2009).

Além dos resíduos da indústria, existem os resíduos da cerâmica produzidos nos canteiros de obras, que representam, junto com a areia e argamassa, em geral, cerca de 80% dos resíduos totais de uma obra (LUCENA, 2005).

2.3 Impactos ambientais causados pela disposição incorreta dos RCC

A destinação final inadequada dos resíduos da construção civil (RCC) no meio ambiente causa impactos ambientais, que são definidos pela Resolução nº 001 do CONAMA, promulgada em 1986, como sendo:

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.
(BRASIL, 1986).

Desta forma os RCC são potenciais agentes de degradação ambiental, visto que podem contaminar córregos, águas superficiais e subterrâneas, comprometer o tráfego nas vias públicas, degradar a paisagem das cidades, poluir o ar, entre outros (SANTO *et al.*, 2014).

De forma geral a construção civil acaba gerando vários danos, que impactam não só o meio ambiente, mas a saúde, qualidade de vida, condições visuais e sanitárias da população (PIOVEZAN, 2007).

2.4 Reciclagem de resíduos na construção civil

Segundo Pinto (2005), um dos grandes desafios da construção civil, atualmente, é conciliar uma atividade produtiva com ações que conduzam a um desenvolvimento sustentável consciente e menos agressivo ao meio ambiente, pois trata-se de algo que exige grandes mudanças culturais e conscientização populacional.

Uma das formas de se reduzir os problemas gerados pelo acúmulo de resíduos na construção civil é a reciclagem (PINTO, 2005). De acordo com a Resolução CONAMA nº 307, promulgada em 2002, a reciclagem é definida como sendo o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido a transformação.

A reciclagem acarreta em vários benefícios para o meio ambiente e população, desde a redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, redução de áreas necessárias para aterros, redução da poluição, até na redução no consumo de energia (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

De acordo com Santo *et al.* (2014), vários materiais associados a engenharia civil podem ser reciclados, principalmente os resíduos sólidos, que substituem grande

parte dos recursos naturais extraídos como agregados. Esse ato, incorporado na produção de concreto e argamassas, diminui amplamente os impactos causados pela produção dos mesmos.

2.5 Utilização de resíduos da cerâmica em argamassas

Alguns estudos já foram realizados utilizando o resíduo da cerâmica como material para substituição parcial de agregados, como o estudo de Silva Junior *et al.* (2002), que substituiu o agregado miúdo por resíduo da cerâmica branca e obteve resultados satisfatórios para a confecção de argamassas, como o aumento da resistência quando comparado a argamassas tradicionais.

Assim como Alexandre *et al.* (2013), que utilizou os resíduos da cerâmica vermelha em substituição parcial da cal na confecção de argamassas. E diante do estudo constatou que todos os traços com adição de resíduos, em comparação com o traço referência, apresentaram um aumento do índice de consistência, e uma melhora visual na coesão da argamassa.

2.6 Argamassas de revestimento

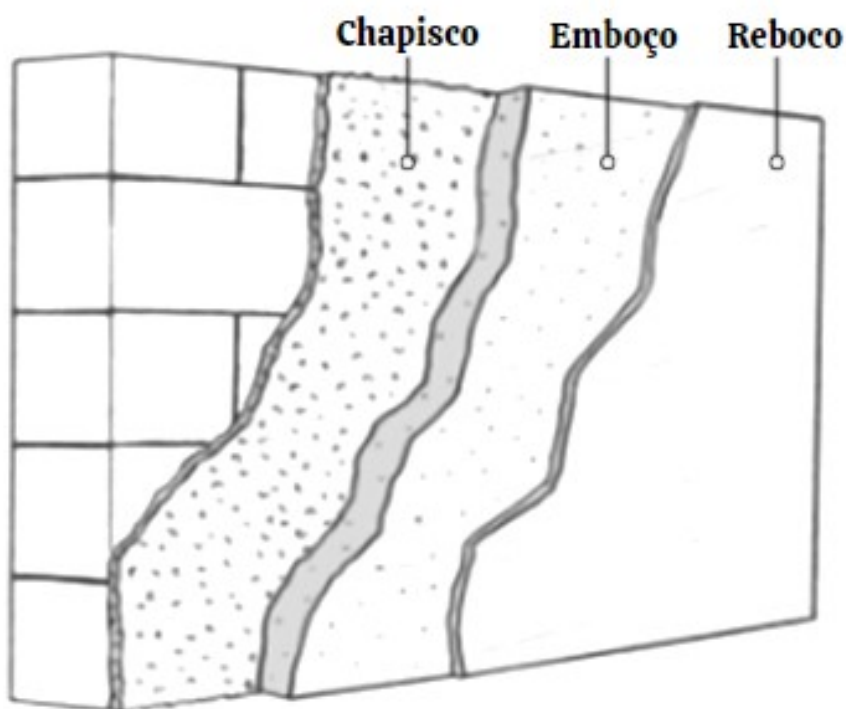
A NBR 13281 (ABNT, 2013) define a argamassa de revestimento como sendo uma “mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento”.

Esse tipo de argamassa é utilizado para revestir paredes, muros e tetos, os quais geralmente recebem acabamentos de pintura e revestimentos, tendo como principais funções: regularizar a base e protegê-la da ação direta dos agentes agressivos, permitir maior isolamento termoacústico, e dar estanqueidade (ABCP, 2002).

2.6.1 Classificação

Os revestimentos de argamassa são constituídos por camadas que apresentam diferentes funções, chapisco, emboço, reboco e massa única, sendo classificadas de acordo com as proporções dos constituintes (ABCP, 2002). A ordem de aplicação das camadas segue uma sequência (Figura 1) que segundo a ABNT NBR 173749 (ABNT, 2013) devem ter a resistência mecânica decrescente ou uniforme partindo da camada em contato com o substrato.

Figura 1 - Camadas do revestimento em argamassas



Fonte: Adaptado ABCP (2002)

2.6.1.1 Chapisco

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), o chapisco é uma camada de preparo da base, podendo ser contínua ou descontínua, e tem como objetivo melhorar a aderência do revestimento e uniformizar a superfície quanto à absorção

2.6.1.2 Emboço

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 2013), o emboço, ou massa grossa, tem como objetivo cobrir e regularizar a base ou o chapisco, tornando a superfície apta para receber o reboco ou o revestimento decorativo. Deve apresentar espessura média entre 15 mm e 25 mm.

2.6.1.3 Reboco

O reboco, ou massa fina, é definido pela NBR 13529 (ABNT, 2013) como a camada que tem como objetivo cobrir o emboço e se tornar o acabamento final ou tornar a superfície apta para receber o revestimento decorativo, desta forma, não deve apresentar fissuras, principalmente em aplicações externas. Para isto, a argamassa deverá apresentar elevada capacidade de acomodar deformações.

2.6.1.4 Massa única

A massa única é o revestimento executado em uma única camada, cumprindo as funções do emboço e reboco, ou seja, regularização da base e acabamento (ABCP, 2002).

2.6.2 Composição da Argamassa

A argamassa é constituída do aglomerante, que é o cimento Portland, da cal hidratada, da água, do agregado, que é a areia e dos aditivos.

2.6.2.1 Cimento Portland

De acordo com a NBR 11172 (ABNT, 1990) o cimento Portland é um aglomerante hidráulico, ou seja, que reage e endurece ao entrar em contato com a água. Sua principal contribuição para a argamassa é no quesito resistência mecânica, mas também influencia muito na retenção de água de mistura e na plasticidade. De

acordo com suas características, os cimentos são classificados por normas (Tabela 1).

Tabela 1 - Classificação dos Cimentos Portland

Denominação	Sigla	Norma
Portland comum	CP I	NBR 5732
Portland composto com escória	CP II – E	NBR 11578
Portland composto com pozolana	CP II – Z	NBR 11578
Portland composto com filler	CP II – F	NBR 11578
Portland de alto forno	CP III	NBR 5735
Portland pozolânico	CP IV	NBR 5736
Portland de alta resistência inicial	CP V - ARI	NBR 5733

Fonte: ABCP (2002)

Usualmente utilizam-se para confecção de argamassas Cimento Portland CP II Z (com adição de material pozolânico) e o CP II F (com adição de filler) (SILVA, 2006).

2.6.2.2 Cal hidratada

A NBR 7175 (ABNT, 2003) define a cal hidratada como um aglomerante aéreo, em forma de pó, obtido a partir da hidratação da cal virgem e constituído de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, sendo dividida conforme a NBR 7175 (ABNT, 2003), em três tipos, CH I, CH II e CH III, conforme a pureza da matéria prima empregada na produção.

A cal, por ser muito fina, contribui para uma melhor hidratação do cimento, o que faz com que ela retenha mais água. Além disso também contribui para a trabalhabilidade e na absorção de deformações.

2.6.2.3 Agregado miúdo

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005) os agregados miúdos são os grãos que passam pela peneira de 4,75 mm e ficam retidos na peneira de 150 µm. Segundo Dubaj (2000), as principais funções do agregado na argamassa são: preencher os

vazios e diminuir o consumo de aglomerantes, aumentar a resistência a compressão, diminuir a retração e reduzir os custos.

Geralmente, o agregado empregado para argamassas de revestimento é a areia natural, constituída essencialmente de quartzo e extraída de leitos de rios (CARASEK, 2007).

Segundo Angelim *et al.* (2003), sua distribuição granulométrica influencia diretamente no desempenho da argamassa. No estado fresco interfere na trabalhabilidade e no consumo de água e aglomerantes, já no revestimento acabado, exerce influência na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência.

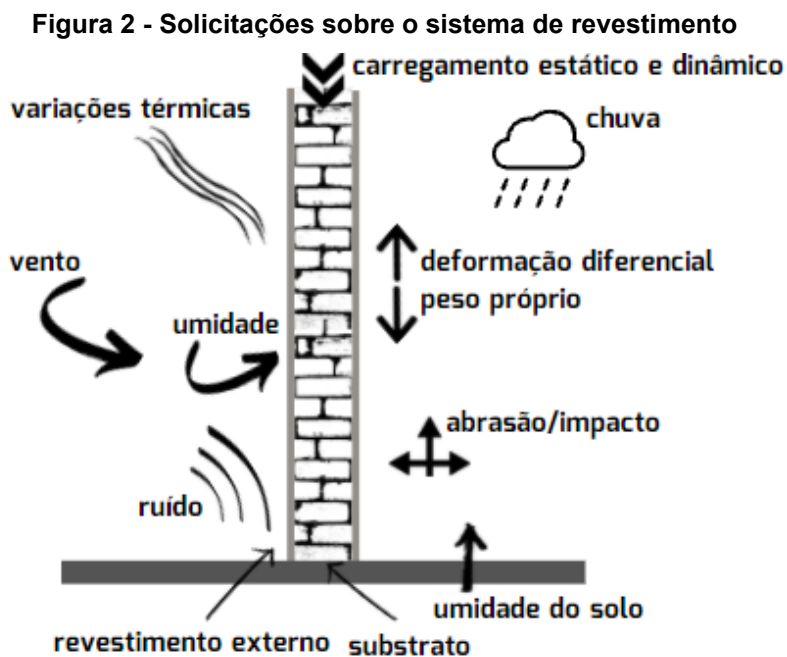
2.6.2.4 Água

A água é a responsável pela reação dos componentes da argamassa, portanto, para não interferir na mistura, a água não deve ser contaminada nem conter excesso de sais solúveis (ABCP, 2002).

Devido ao aumento dos vazios intergranulares na argamassa, o excesso de água reduz as resistências mecânicas, resultando também no aumento da porosidade e da permeabilidade do revestimento, prejudicando sua durabilidade (MATTOS, 2001).

2.6.3 Propriedades da Argamassa de Revestimento

Segundo Cincotto (1995), a argamassa deve atender solicitações as quais é submetida, como carregamentos, umidade, vento, variações térmicas, chuva, deformações, abrasão, ruído, entre outros, conforme mostra a Figura 2.



Fonte: Adaptado Cincotto (1995)

Para tanto, é necessário que a mesma possua as características e propriedades compatíveis ao ambiente em que está exposta (ABCP, 2002). Segundo Baía e Sabbatini (2008) estas propriedades se dividem em duas categorias, propriedades do estado fresco e propriedades do estado endurecido, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades da argamassa

Estado Fresco	Estado Endurecido
Consistência	Aderência
Trabalhabilidade	Capacidade de absorver deformações
Retenção de água	Resistência mecânica
Aderência inicial	Durabilidade
Densidade de massa	

Fonte: Adaptado Baía e Sabbatini (2008)

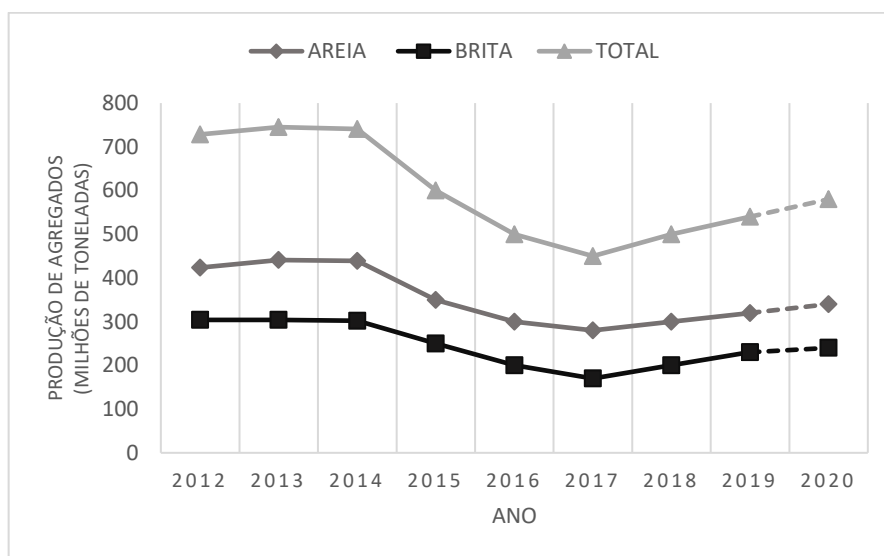
2.7 Agregados naturais

O setor da construção civil é um grande consumidor de recursos naturais não renováveis, principalmente para a produção de argamassas e concretos. A brita e areia, por exemplo, estão entre os minerais mais consumidos no mundo, sendo a

mineração das mesmas uma das atividades extrativas mais importantes do setor mineral brasileiro, devido ao volume produzido (FONSECA *et al.*, 2012).

Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados Para Construção (ANEPAC, 2020), em 2013 houve a maior produção de agregados, cerca de 745 milhões de toneladas, devido a ampla oferta de crédito imobiliário, obras decorrentes do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do Programa Minha Casa, Minha Vida e das obras de preparação para a Copa do Mundo de 2014. Após esse grande marco a produção diminuiu, recessão que se prolongou até 2017, quando o setor voltou a crescer devido à redução na taxa básica de juros. Em São Paulo, apesar da pandemia da Covid-19, no primeiro trimestre de 2020 a produção de agregados foi superior ao primeiro trimestre de 2019, indicando crescimento no setor, conforme o Gráfico 1.

Gráfico 1- Produção de agregados de acordo com o ano



Fonte: Adaptado ANEPAC (2020)

No Brasil, 90% da produção de areia vem da extração em leito de rios. Essa exploração da areia causa diversos impactos ambientais, como assoreamento nos rios, degradação dos cursos d'água, retirada da cobertura vegetal, entre outros. Além disso, o esgotamento em áreas próximas tem provocado deslocamento dos mineradores pra locais cada vez mais distantes, poluindo o meio ambiente, devido ao transporte, e aumentando o preço final da areia natural (FONSECA *et al.*, 2012).

Sendo a brita e a areia recursos naturais não renováveis, ou seja, finitos, a extinção dos mesmos é um problema que vem sendo constantemente discutido, visto que muitos empreendimentos fazem uso desses recursos de forma incorreta, sem se preocupar no futuro das próximas gerações (SANTO *et al.*, 2014).

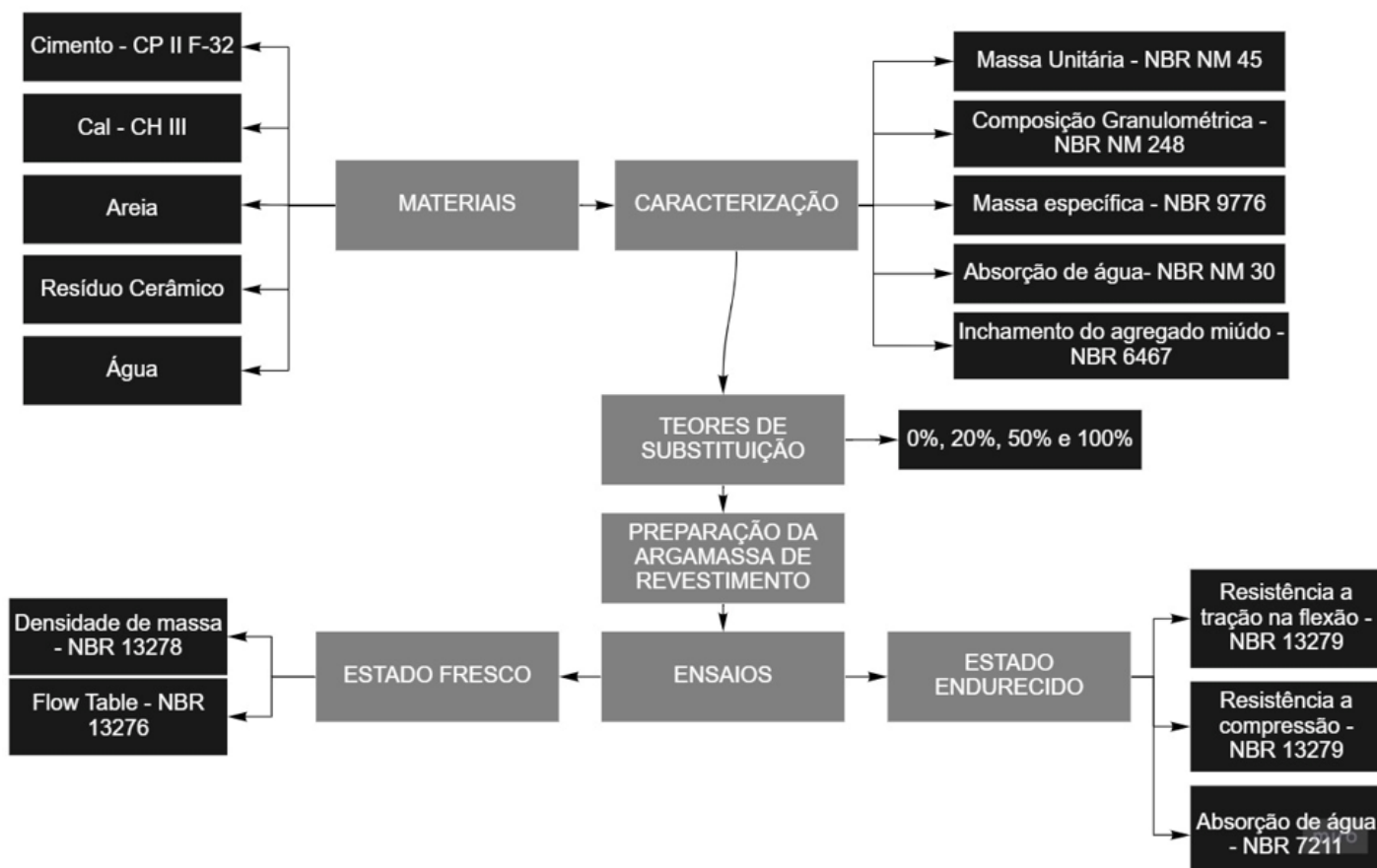
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração prática do projeto de pesquisa foi utilizado o método experimental, que se resume em submeter os objetos de estudo à influência de variáveis em circunstâncias controladas para analisar os resultados que a variável produz no objeto (GIL, 2008).

Essa etapa do projeto foi desenvolvida no laboratório de engenharia civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Guarapuava.

O desenvolvimento do trabalho está ilustrado no fluxograma na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do desenvolvimento do projeto



Autoria própria (2021)

3.1 Materiais

3.1.1 Cimento

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado o cimento CP II F-32 da marca Supremo Secil cimentos, normatizado pela NBR 11578 (ABNT, 1991).

A escolha do tipo do cimento foi justificada por ser um cimento largamente empregado na produção de argamassas. Sua caracterização foi baseada conforme descrição do fabricante.

3.1.2 Cal

A cal utilizada foi a CH-III, da marca Engecal, normatizada pela NBR 7175 (ABNT, 2002). A escolha desse tipo de cal foi justificada por, além de ser uma das mais utilizadas, ser a de menor custo, contribuindo para a questão econômica da argamassa.

3.1.3 Agregado reciclado (Resíduo de cerâmica vermelha)

A cerâmica vermelha foi obtida por resíduos gerados em obras na cidade de Guarapuava/PR e por resíduos de blocos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Guarapuava (Fotografia 2).

Fotografia 2 - Resíduos cerâmicos recolhidos de uma obra em Guarapuava/PR



Fonte: Autoria própria (2021)

Depois de coletados, estes resíduos foram colocados na máquina de abrasão Los Angeles, que é composta de um tambor cilíndrico que gira durante um tempo estabelecido com agregado mais bolas de ferro fundido no seu interior, a fim de triturar o resíduo.

Por fim, os resíduos passaram pelas peneiras e foram selecionados apenas os grãos que passaram pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e os que ficaram retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm (Fotografia 3), que é a definição de agregado miúdo conforme a NBR 7211 (ABNT, 2005).

Fotografia 3 - Resíduo cerâmico utilizado na produção das argamassas



Fonte: Autoria própria (2021)

3.1.4 Agregado Natural (Areia)

O agregado miúdo natural (areia), foi fornecido pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A amostra de areia foi manuseada conforme recomenda a NBR 16915 (ABNT, 2021), Agregados - Amostragem, que estabelece os procedimentos para a amostragem de agregados, desde a sua extração e redução até o armazenamento e transporte das amostras representativas de agregados.

3.1.5 Água

A água utilizada na produção das argamassas foi fornecida pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Guarapuava, proveniente da Companhia de Saneamento do Paraná.

3.2 Métodos

A metodologia se desenvolveu, inicialmente, com a caracterização dos materiais. Em seguida foi feita a dosagem, com a definição das proporções e os percentuais de substituição das argamassas. E, por fim, foram avaliadas as propriedades no estado fresco e endurecido.

3.2.1 Variáveis do programa experimental

Na estruturação desse programa experimental foram determinados parâmetros constituindo-se nas variáveis de análise experimental, como também foram fixadas as variáveis intervenientes:

As variáveis independentes desta pesquisa são:

- Teores de substituição de resíduo de cerâmica vermelha (20%; 50% e 100%) nas argamassas de revestimento.

Os fatores controláveis e fixos desta pesquisa são:

- Tipo de cimento (CP II F-32) e cal (CH III);
- Relação água/materiais secos (1,53).

3.2.2 Caracterização dos agregados

Nessa etapa foram caracterizados os agregados miúdos (areia e resíduo da cerâmica vermelha) utilizados na fabricação da argamassa de revestimento de acordo com as normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Para isso, foram realizados os ensaios descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaios de caracterização dos agregados

Amostra	Ensaios selecionados	Norma Técnica
Resíduo cerâmico e Areia	Composição granulométrica	NBR NM 248 (2012)
	Determinação da massa unitária	NBR NM 45 (2004)
	Determinação da massa específica	NBR 9776 (2003)
	Determinação da absorção de água	NBR NM 30 (2000)
	Inchamento do agregado miúdo	NBR 6467 (2006)

Fonte: Autoria própria (2021)

3.2.2.1 Ensaio de determinação da composição granulométrica

Os ensaios granulométricos foram realizados conforme a ABNT NBR NM 248 – Agregados – Determinação da composição granulométrica em conjunto com as normas pertinentes a mesma.

Primeiramente a amostra foi seca em estufa a 110°C, até a constância do peso. Após isso foi feito o encaixe da série de peneiras no agitador mecânico, com abertura de malha em ordem crescente, da base para o topo, juntamente com o fundo. A amostra foi colocada sobre a peneira superior e as peneiras foram agitadas com o auxílio do agitador mecânico. Os materiais retidos em cada peneira foram pesados em uma balança digital e os resultados usados para a confecção de gráficos das curvas granulométricas para cada agregado.

3.2.2.2 Ensaio de determinação da massa unitária e do volume de vazios

Os ensaios de determinação da massa unitária e do volume de vazios foram realizados conforme a NM 45:2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. O método utilizado foi o “método C”, que segundo a NM 45 deve ser empregado para determinar a massa unitária de um material no estado solto.

Desta forma, primeiramente foi determinada a massa do recipiente vazio. A seguir, o recipiente foi completado com o resíduo e a camada superficial foi nivelada com o auxílio de uma espátula, de forma a rasá-la com a borda superior do recipiente, para enfim determinar a massa do recipiente com o agregado.

Por fim, para o cálculo da massa unitária foi utilizada a Equação 1.

$$\rho_{ap} = \frac{(m_{ar} - m_r)}{V} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

ρ_{ap} : massa unitária do agregado, em quilogramas por metro cúbico;

m_{ar} : massa do recipiente mais o agregado, em quilogramas;

m_r : massa do recipiente vazio, em quilogramas;

V : volume do recipiente, em metros cúbicos.

Após o cálculo da massa unitária, foi possível calcular o índice de volume de vazios, conforme a Equação 2.

$$Ev = \frac{100 \times ((d_{1xpw}) - \rho_{ap})}{d_{1xpw}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

E_v : índice de volume de vazios nos agregados em porcentagem;

d_1 : é a massa específica relativa do agregado seco, determinada conforme a NM 52

ρ_w : é a massa específica de água, em quilogramas por metro cúbico;

ρ_{ap} : é a massa unitária média do agregado, em quilogramas por metro cúbico.

3.2.2.3 Ensaio de determinação da massa específica

Os ensaios de determinação da massa específica e massa específica aparente foram realizados conforme a NBR 9776 – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.

Primeiramente foi colocada água no frasco até a marca de 200 cm³. Em seguida foi pesado e introduzido 500 g de agregado miúdo seco no frasco, o qual foi agitado para a eliminação das bolhas de ar. Por fim foi feita a leitura do nível atingido pela água no gargalo do frasco, o qual indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo.

A massa específica do agregado miúdo foi calculada mediante a Equação 3.

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

γ : massa específica do agregado miúdo, em g/cm³;

L: leitura do frasco, em cm³;

3.2.2.4 Ensaio de determinação de absorção de água

Os ensaios de determinação da massa específica e massa específica aparente foram realizados conforme a NM 30:2000 – Agregado miúdo – Determinação da absorção de água.

Primeiramente a amostra de agregado foi colocada em um recipiente e coberta com água, onde ficou em repouso por 24 horas. Após isso a amostra foi

retirada da água e estendida sobre uma superfície plana, onde foi misturada, a fim de permitir uma secagem uniforme.

Após a secagem, a amostra foi colocada em um molde até completar a superfície. Com o auxílio de uma haste, a amostra foi compactada com 25 golpes e após a retirada do molde, o agregado conservou a forma do molde, desta forma, continuou-se a secagem da amostra e realizou-se ensaios até que o cone de agregado miúdo desmoronou, chegando assim a sua condição de saturado superfície seca.

O cálculo da absorção de água foi feito através da Equação 4.

$$A = \frac{ms - m}{m} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

A: absorção de água, em porcentagem;

ms: massa da amostra na condição saturado superfície seca, em gramas;

m: é a massa da amostra seca em estufa, em gramas;

3.2.2.5 Ensaio de determinação do inchamento do agregado miúdo

Os ensaios de determinação do inchamento do agregado miúdo foram realizados conforme a ABNT NBR 6467 – Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo.

Primeiramente a amostra foi seca por 24 horas em uma estufa mantida a 105° C e depois resfriada a temperatura ambiente. A amostra seca foi colocada no misturador mecânico.

Adicionou-se água em quantidades sucessivas, de modo a obter os teores de umidade de 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%. A cada adição de água foram realizadas as seguintes operações:

- a) homogeneização cuidadosa da amostra após cada adição de água, de forma manual ou com auxílio do misturador mecânico, evitando a perda de material da amostra;
- b) retirada de uma porção da amostra homogeneizada para determinação da massa unitária do agregado de acordo com a ABNT NBR 7251, registrando os resultados obtidos;

- c) retirada de uma outra porção da amostra homogeneizada para preenchimento de uma cápsula.

Após isso, as cápsulas contendo o agregado com diferentes teores de umidade foram submetidas às seguintes operações:

- determinação da massa de cada cápsula contendo o agregado (m_i), registrando o resultado obtido;
- colocação das cápsulas destampadas e devidamente identificadas em estufa mantida a $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, para secagem do agregado, durante 24 h ou até massa constante;
- retirada das cápsulas contendo o agregado da estufa e determinação de sua massa.

Após os dados obtidos foram feitos os cálculos dos teores de umidade do agregado em cada cápsula (Equação 5).

$$h = \frac{m_i - m_f}{m_f - m_c} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

h : teor de umidade do agregado, em porcentagem;

m_i : massa inicial da cápsula com o material em ensaio, em gramas;

m_f : massa após a secagem da cápsula com o material em ensaio, em gramas;

m_c massa da cápsula, em gramas.

Para cada teor de umidade foi calculado o coeficiente de inchamento de acordo com a Equação 6.

$$\frac{Vh}{V_s} = \frac{y_s}{yh} \times \left(\frac{100 + h}{100} \right) \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

Vh : volume do agregado com um determinado teor de umidade, em centímetros cúbicos;

V_s : volume do agregado seco em estufa, em centímetros cúbicos;

$\frac{Vh}{V_s}$: coeficiente de inchamento do agregado;

h : teor de umidade do agregado;

y_h : massa unitária do agregado com determinado teor de umidade, em gramas por centímetro cúbico;

y_s : massa unitária do agregado seco em estufa, em gramas por centímetro cúbico.

3.2.3 Produção das argamassas

A dosagem da argamassa foi determinada com base em formulações adotadas na indústria da construção civil para argamassas de revestimento. Desta forma, adotou-se o traço, em volume, de 1:2:8 (cimento, cal e agregado), justificado por ser um dos traços mais utilizados na produção de argamassas de revestimento.

Assim como indicado na Tabela 3, foram formuladas argamassas para os teores de 0%, 20%, 50% e 100% de substituição da areia por resíduo de cerâmica vermelha, tendo como parâmetro comparativo, a argamassa referência, com 0% de substituição. Além disso, foi determinada a relação água/materiais secos para o traço referência ($a/ms=1,53$), a qual foi mantida constante para todos os outros traços.

Tabela 3 - Traços das argamassas

Nomenclatura	Teor de substituição	Traço em volume c:c:a:rcv*	Traço em massa c:c:a:rcv
REF	0%	1 : 2 : 8 : 0	1 : 0,9 : 9,9
A20	20%	1 : 2 : 6,4 : 1,6	1 : 0,9 : 7,9 : 2,2
A50	50%	1 : 2 : 4 : 4	1 : 0,9 : 5 : 5,6
A100	100%	1 : 2 : 0 : 8	1 : 0,9 : 0 : 11,1

*c:c:a:rcv – cimento : cal : areia : resíduo da cerâmica vermelha

**REF - argamassa referência (0% de substituição); AX – argamassa com X% de substituição.

Fonte: Autoria própria (2021)

Para isso, primeiramente utilizou-se uma relação água/materiais secos de 0,6, porém, obteve-se uma argamassa seca. Ao adicionar mais água, com a relação água/materiais secos aumentada para 1,65, realizou-se o ensaio de consistência, obtendo uma argamassa muito fluida, com índice de consistência 287 mm. Em vista disso, a quantidade de água foi diminuída novamente até a obtenção da consistência esperada, chegando então uma relação água/materiais secos de 1,53.

Para o preparo das argamassas foram calculados os traços em massa, também indicado na Tabela 3, a partir das massas unitárias dos materiais e do inchamento da areia (Tabela 4).

Tabela 4 - Propriedades físicas dos materiais

Material	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária (g/cm³)	Inchamento (%)
Cimento	3,00	0,96	-
Cal	2,2	0,45	-
Areia	2,79	1,59	1,34
Resíduo cerâmico	2,87	1,33	-

Fonte: Autoria própria (2021)

Já o consumo de cada material, por corpo de prova (Tabela 5), foi definido utilizando-se suas respectivas massas específicas.

Tabela 5 - Consumo de materiais, em gramas, para 01 corpo de prova prismático

Nomenclatura	Cimento	Cal	Areia	Resíduo Cerâmico
Referência	59,33	55,62	588,52	-
A20	59,33	55,62	470,82	117,70
A50	59,33	55,62	294,26	294,26
A100	59,33	55,62	-	588,52

Fonte: Autoria própria (2021)

A preparação e mistura da argamassa foi realizada conforme a ABNT NBR 16541:2016 – argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura para a realização de ensaios.

Primeiramente os materiais secos foram misturados em um recipiente, com os materiais homogeneizados por completo, a mistura foi colocada em uma argamassadeira eletromecânica de movimento planetário (Fotografia 4), feita em aço inoxidável, na velocidade baixa por cerca de 4 minutos, enquanto a água foi adicionada aos poucos.

Fotografia 4 - Argamassadeira Planetária



Fonte: Autoria própria (2021)

3.2.4 Propriedades das argamassas no estado fresco

Para a determinação das propriedades físicas das argamassas no estado fresco foram executados dois ensaios, o ensaio de determinação do índice de consistência e o ensaio de densidade de massa.

3.2.4.1 Ensaio de determinação do índice de consistência

Primeiramente o tampo da mesa do ensaio e a parede do molde troncônico foram limpos. Após a preparação da argamassa, a mesma foi utilizada para encher o molde troncônico, que foi colocado no centro da mesa.

O molde foi segurado firmemente e a argamassa colocada em três camadas sucessivas, aplicando em cada uma delas, respectivamente, quinze, dez, e cinco golpes com o soquete. Após encher o molde, foi feito o arrasamento com o auxílio de uma régua metálica.

O molde foi retirado de forma vertical e a manivela da mesa acionada, fazendo com que a mesa subisse e descesse 30 vezes em 30 segundos de maneira uniforme.

Imediatamente após a última queda, foi medido o espalhamento da argamassa, com o auxílio de um paquímetro (Fotografia 5), em três diâmetros tomados em pares de pontos distribuídos.

Fotografia 5 - Espalhamento da argamassa



Fonte: Autoria própria (2021)

O cálculo do índice de consistência da argamassa é dado pela média das três medidas, conforme Equação 7.

$$IC = \frac{D1 + D2 + D3}{3} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

IC: índice de consistência, em milímetros;

D1: diâmetro 1, em milímetros;

D2: diâmetro 2, em milímetros;

D3: diâmetro 3, em milímetros;

Através dos resultados medidos na mesa de consistência foi possível observar o comportamento das argamassas conforme o aumento do teor de substituição.

3.2.4.2 Ensaio de densidade de massa

A densidade de massa da argamassa no estado fresco foi determinada de acordo com as prescrições na NBR 13278 (ABNT, 2005) a partir da relação entre a

massa que uma argamassa fresca ocupa dentro de um recipiente cilíndrico de peso conhecido, e o volume do mesmo.

O cálculo da densidade de massa foi obtido através da Equação 8.

$$d = \frac{mc - mv}{vr} \times 1000 \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

d: densidade de massa da argamassa, em quilogramas por metro cúbico;

mc: massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio, em gramas;

mv: massa do recipiente cilíndrico vazio, em gramas;

vr: volume do recipiente cilíndrico, em gramas;

3.2.5 Propriedades das argamassas no estado endurecido

Para o estado endurecido da argamassa foram moldados corpos de prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm), para avaliação da resistência à compressão e à tração na flexão, e cilíndricos (5 cm x 10 cm) para determinação da absorção de água em argamassas endurecidas.

Os ensaios foram realizados aos 28 dias, conforme recomendado pelas respectivas normas.

3.2.5.1 Moldagem dos corpos de prova

Para a realização do ensaio de absorção foram moldados 2 corpos de prova cilíndricos para cada dosagem. Os moldes cilíndricos foram montados e untados com desmoldante antes do preparo da argamassa, de forma a assegurar a estanqueidade do encaixe da base com a fôrma cilíndrica.

Imediatamente após o preparo da argamassa foi feita a moldagem dos corpos de prova. A argamassa foi colocada no molde, com o auxílio de uma espátula, em quatro camadas de altura aproximadamente iguais, e a cada camada foram

distribuídos 30 golpes com o soquete. Por fim foi feito o arrasamento dos corpos de prova.

Para os ensaios de resistência a compressão e resistência à tração na flexão, foram moldados 12 corpos de prova prismáticos nas dimensões 40x40x160 mm para cada traço.

Imediatamente após o preparo, as argamassas foram colocadas nos moldes já untados com desmoldante, e com o auxílio do soquete, foram realizados 30 golpes. Os corpos de prova foram rasados com régua metálica e permaneceram cerca de 48h nos moldes até serem desmoldados (Fotografia 6), mantendo-se em temperatura ambiente para a realização dos ensaios.

Fotografia 6 - Corpos de prova



Fonte: Autoria própria (2021)

3.2.5.2 Ensaio de determinação da absorção de água

Os ensaios de determinação da absorção de água em argamassas endurecidas foram realizados conforme a ABNT NBR 7211 – Agregados para concreto – Especificação.

Primeiramente a amostra foi colocada em estufa (105 °C) por um período de 72 horas a fim de registrar sua massa seca. Após isso, a amostra foi imersa em água durante 72 horas. Completada a etapa de saturação, a amostra foi colocada em um recipiente cheio de água, que foi progressivamente levado a ebulição, mantendo-se nessa condição por 5 horas. Depois desse período, com o resfriamento natural da

água à temperatura ambiente, foi registrada a massa com o auxílio de uma balança hidrostática. A amostra foi retirada da água e enxugada com o auxílio de um pano úmido, para, por fim, registrar sua massa saturada.

O resultado do ensaio é a média das determinações realizadas, dessa forma, foi feito o cálculo da absorção, em porcentagem, por meio da Equação 9.

$$A = \frac{msat - ms}{ms} \times 100 \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

msat: massa da amostra saturada em água após imersão e fervura, em gramas;

ms: massa da amostra seca em estufa, em gramas;

Também foi calculado o índice de vazios, em porcentagem, conforme Equação 10.

$$Iv = \frac{msat - ms}{msat - mi} \times 100 \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

msat: massa da amostra saturada em água após imersão e fervura, em gramas;

ms: massa da amostra seca em estufa, em gramas;

mi: massa da amostra saturada imersa em água após fervura, em gramas;

Além disso, foi calculada a massa específica real (Equação 11).

$$\rho_r = \frac{ms}{ms - mi} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

ms: massa da amostra seca em estufa, em gramas;

mi: massa da amostra saturada imersa em água após fervura, em gramas;

3.2.5.3 Ensaio de resistência à tração na flexão

Os ensaios de resistência à tração na flexão foram realizados conforme a ABNT NBR 13279 – Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

A carga aplicada foi de 50 N/s até a ruptura do corpo-de-prova. Para o cálculo da resistência à tração na flexão foi utilizada a Equação 12.

$$R_t = \frac{1,5F_t \times L}{40^3} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

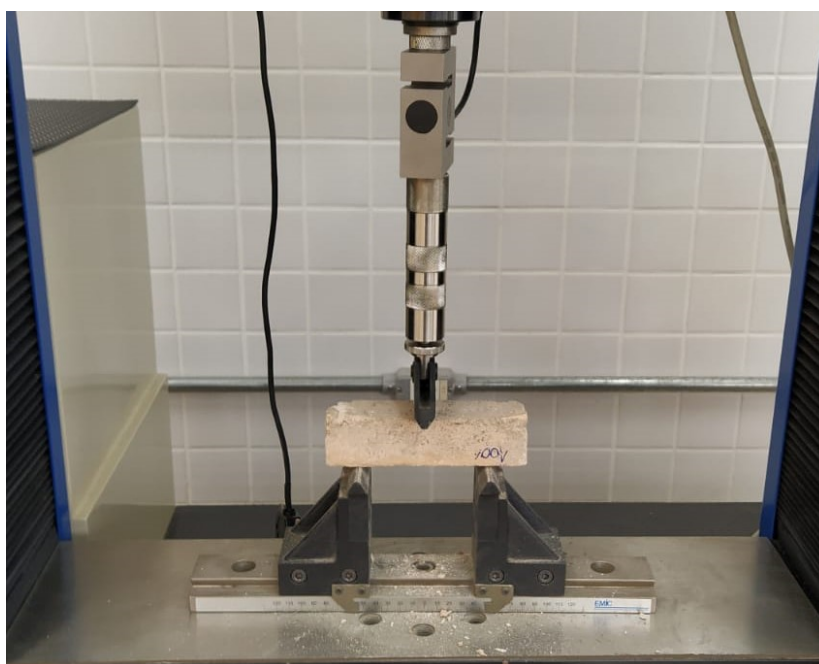
R_t : resistência à tração na flexão, em megapascals;

F_t : carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L : distância entre os suportes, em milímetros.

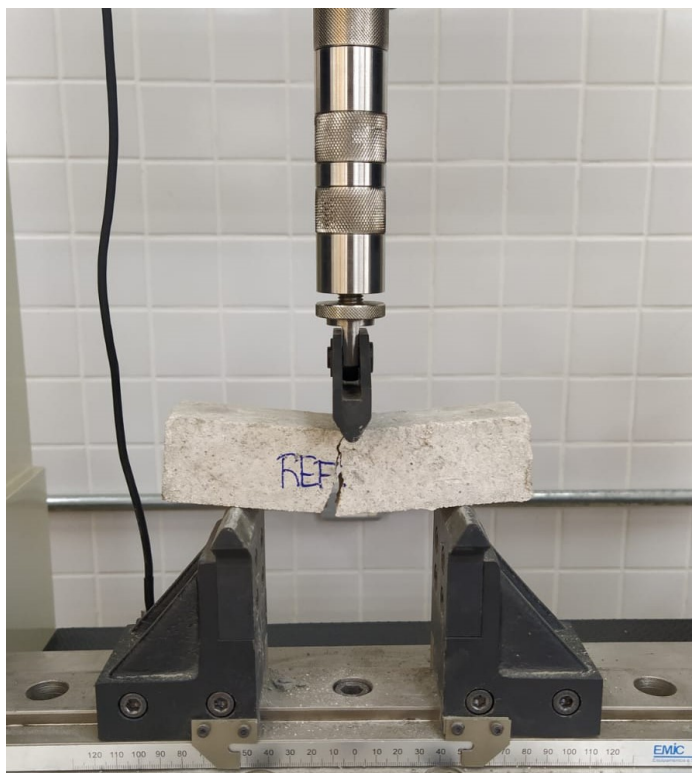
O ensaio de resistência à tração na flexão está demonstrado na Fotografia 7, na Fotografia 8 e na Fotografia 9.

Fotografia 7 - Ensaio de resistência à tração na flexão na A100



Fonte: Autoria própria (2021)

Fotografia 8 - Ensaio de resistência à tração na flexão na REF



Fonte: Autoria própria (2021)

Fotografia 9 - Corpos de prova após o ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: Autoria própria (2021)

3.2.5.4 Ensaio de resistência à compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados conforme a ABNT NBR 13279 – Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.

A carga aplicada foi de (500 ± 50) N/s até a ruptura do corpo-de-prova. Para o cálculo da resistência à compressão foi utilizada a Equação 13.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

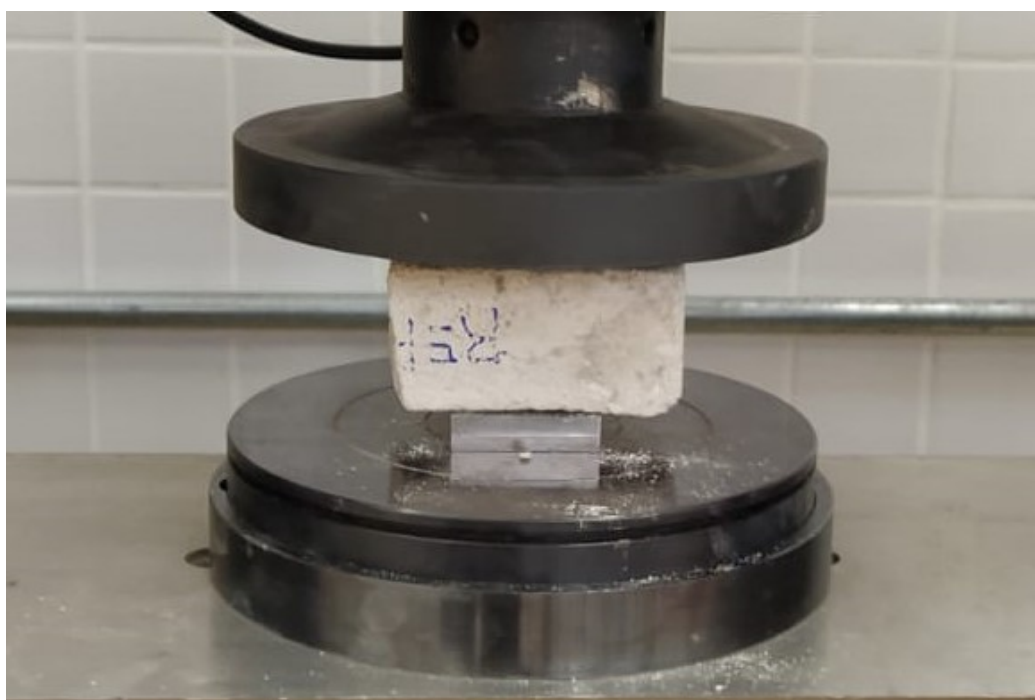
R_c : resistência à compressão, em megapascals;

F_c : carga máxima aplicada, em newtons;

1600: área da seção considerada quadrada pelo dispositivo de carga 40 mm x 40 mm, em milímetros quadrados.

O ensaio de resistência à compressão está demonstrado na Fotografia 11 e na Fotografia 10.

Fotografia 10 - Ensaio de resistência à compressão REF



Fonte: Autoria própria (2021)

Fotografia 11 - Ensaio de resistência à compressão A50



Fonte: Autoria própria (2021)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização física dos agregados

4.1.1 Composição granulométrica

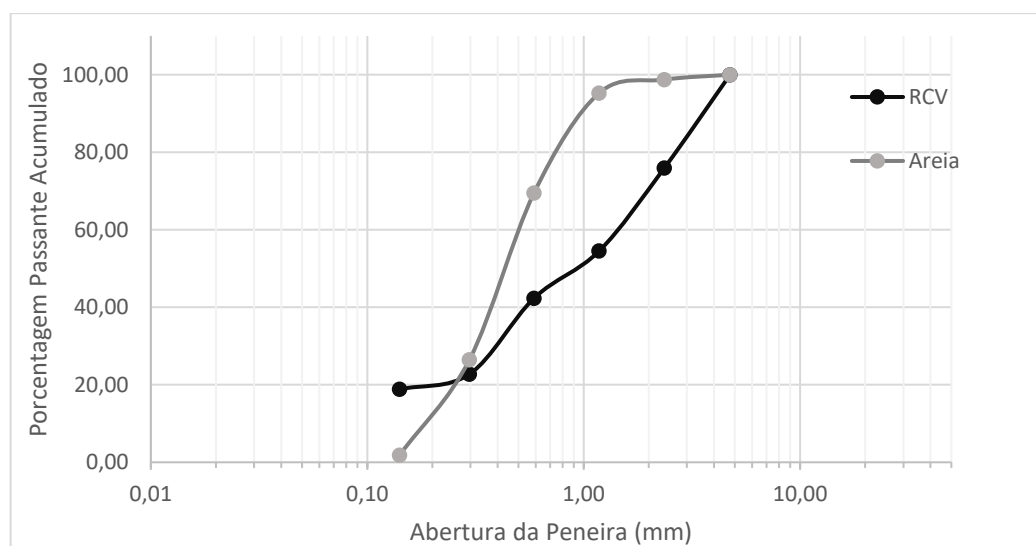
A distribuição granulométrica da areia, bem como da cerâmica vermelha estão apresentados na Tabela 6, seguido das suas respectivas curvas granulométricas (Gráfico 2).

Tabela 6 - Análise granulométrica dos agregados

Diâmetro da peneira (mm)	Areia			Resíduo Cerâmico (RCV)		
	Percentual Retido (%)	Percentual Retido Acumulado (%)	Percentual Passante Acumulado (%)	Percentual Retido (%)	Percentual Retido Acumulado (%)	Percentual Passante Acumulado (%)
4,75	0,69	0,00	100,00	0,0	0,00	100,00
2,36	0,60	0,60	99,40	24,0	24,04	75,96
1,18	3,44	4,04	95,96	21,4	45,47	54,53
0,6	25,35	29,39	70,61	12,2	57,64	42,36
0,30	43,33	72,72	27,28	19,6	77,23	22,77
0,15	22,77	95,49	4,51	1,9	79,16	20,84
<0,15	3,82	99,30	0,70	20,7	99,89	0,11

Fonte: Autoria própria (2021)

Gráfico 2 - Curvas granulométricas da areia e da cerâmica vermelha



Fonte: Autoria própria (2021)

De acordo com os dados apresentados na Tabela 6, observa-se que o resíduo cerâmico possui maior quantidade de grãos acima de 1,18 mm de diâmetro, sendo

desta forma classificado como agregado miúdo grosso, de acordo com a Tabela 7. Já a areia, de acordo com os limites estabelecidos, se encaixa na zona 2, classificada, portanto, como uma areia média fina.

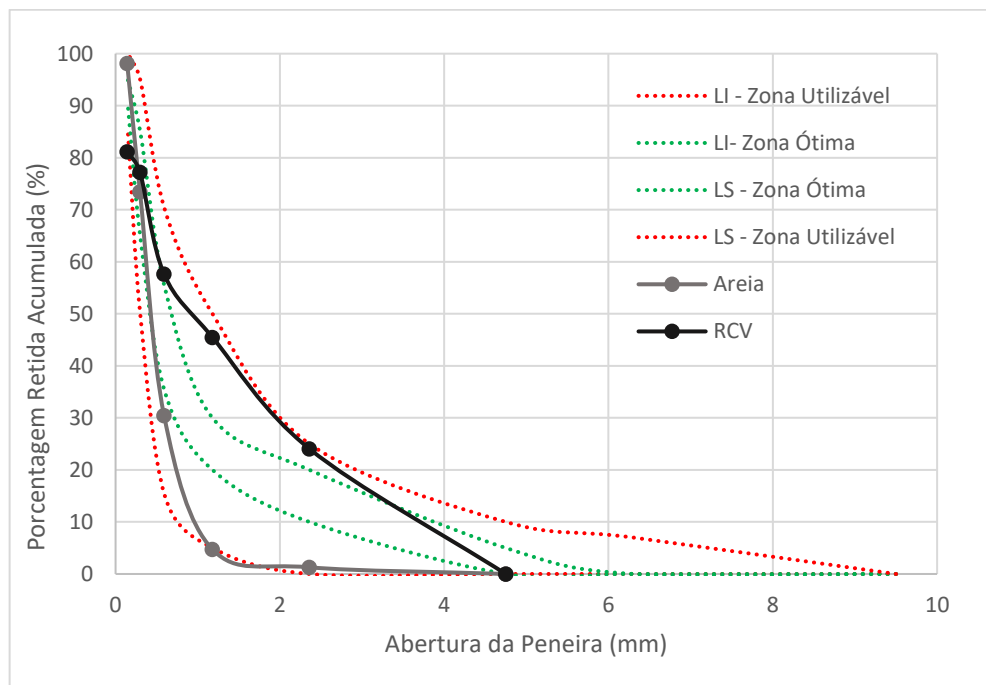
Tabela 7 - Limites granulométricos de agregado miúdo

Peneira ABNT (mm)	Porcentagem, em massa, retida acumulada na peneira ABNT			
	Zona 1 Fina	Zona 2 Média Fina	Zona 3 Média Grossa	Zona 4 Grossa
4,8	0 a 5	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4	0 a 5	0 a 15	0 a 25	5 a 40
1,2	0 a 10	0 a 25	10 a 45	30 a 70
0,6	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3	50 a 85	60 a 88	70 a 92	80 a 95
0,15	85 a 100	90 a 100	90 a 100	90 a 100

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2005)

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005), a distribuição granulométrica deve atender aos limites estabelecidos por norma, conforme apresentado no Gráfico 3.

Gráfico 3 Limites de utilização do agregado miúdo



Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando o Gráfico 3, nota-se que ambos agregados se encontram na zona aceitável de utilização, sendo que a areia está mais próxima da zona inferior de utilização e o resíduo cerâmico mais próximo da zona ótima de utilização.

4.1.2 Propriedades dos agregados

Para uma melhor avaliação e classificação dos agregados, foram determinadas propriedades (dimensão máxima, módulo de finura e coeficiente de uniformidade) a partir da análise das curvas granulométricas (Gráfico 2), além das propriedades obtidas através dos ensaios citados na Figura 3. Os resultados estão indicados na Tabela 8.

Tabela 8 - Propriedades físicas dos agregados

Propriedades	Areia	Resíduo Cerâmico (RCV)
Dimensão Máxima (mm)	1,18	4,75
Módulo de Finura - MF	2,08	2,86
Coeficiente de Uniformidade - Cu	2,78	-
Absorção de Água (%)	3,17	15,97
Massa Específica (g/cm ³)	2,87	2,79
Massa Unitária (g/cm ³)	1,60	1,34

Fonte: Autoria própria (2021)

Como pode ser observado na Tabela 8, a dimensão máxima do RCV é maior que a da areia, o que confirma a análise anterior de que a cerâmica possui maior quantidade de grãos com diâmetro maiores. É possível confirmar também, através do módulo de finura, que a areia se encontra na zona utilizável inferior ($1,55 < MF < 2,20$) e que o RCV se encontra na zona ótima ($2,20 < MF < 2,90$). Além disso, os agregados reciclados tendem a uma composição granulométrica um pouco mais grossa que os agregados naturais, resultando em um módulo de finura maior.

A partir do coeficiente de uniformidade (Cu), parâmetro oriundo da mecânica dos solos, foi possível classificar a areia como muito uniforme ($Cu < 5$), de uniformidade média ($5 < Cu < 15$), e pouco uniforme ($Cu > 15$) (PINTO, 2006). Desse modo, conforme Tabela 8, a areia pode ser considerada muito uniforme, ou seja, mal graduada, visto que a granulometria uniforme significa pouca variabilidade nas dimensões dos grãos. Essa má graduação da areia interfere diretamente nas propriedades da argamassa devido aos vazios que surgem pela granulometria uniforme, portanto aumentando o índice de vazios e reduzindo a resistência mecânica.

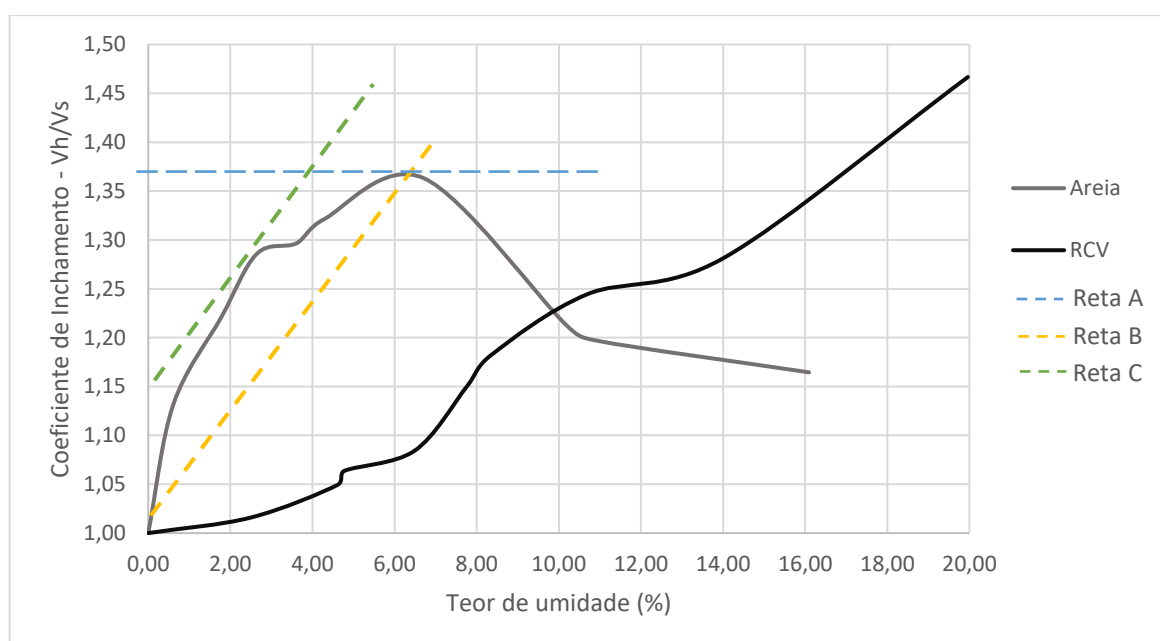
A absorção de água é uma propriedade importante a ser analisada, pois, segundo Leite (2001), os agregados convencionais quase não exercem influência na absorção das argamassas, pois apresentam pouca porosidade. Porém, agregados

reciclados tendem a ser muito porosos, aumentando significativamente a absorção de água. Assim, os resultados obtidos vão em conformidade com a literatura (PINZ; PALIGA; TORRES, 2020; MOTTA; FANTIN; HENTGES, 2020) visto que o RCV obteve uma absorção de água no valor de 15,97%, já a areia apresentou um valor inferior de absorção de água no valor de 3,17%. Com isso, o RCV pode aumentar o consumo de água na mistura fresca de argamassas e assim diminuir o desempenho mecânico das argamassas endurecidas.

Quanto aos resultados de massa específica e massa unitária dos grãos, apresentados na Tabela 8, tanto a areia quanto o resíduo cerâmico apresentaram valores semelhantes.

Outra propriedade importante a ser considerada, principalmente para o cálculo do traço em massa, é o coeficiente de inchamento do agregado miúdo. Para tanto, foram feitas as curvas de inchamento dos agregados em função do teor de umidade (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Curvas de inchamento dos agregados



Fonte: Autoria própria (2021)

Analisando o Gráfico 4, percebeu-se um comportamento diferenciado entre a areia e o resíduo cerâmico. No caso do RCV não foi identificado o desenvolvimento do fenômeno de inchamento. Provavelmente, devido a sua alta porosidade e consequentemente, maior absorção de água, além da tensão superficial água-RCV

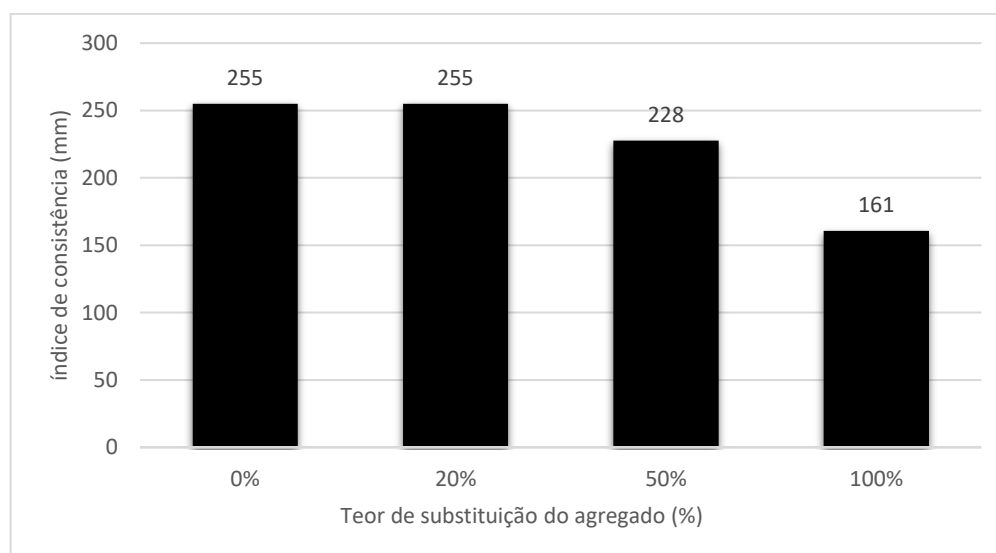
ser insuficiente para afastar as partículas do agregado. Desta maneira, não há diferença entre os volumes de agregado miúdo de RCV para diferentes umidades, há apenas o aumento de volume devido ao aumento de água ocupando os vazios. Já a areia apresentou uma curva de inchamento muito semelhante às encontradas na literatura (Macedo *et al.*, 2019; DNER PRO-11/79, 1979), tendo um coeficiente de inchamento médio de 1,34, fator indispensável para correção do traço.

4.2 Caracterização das argamassas no estado fresco

4.2.1 Consistência das argamassas

Observa-se, através do Gráfico 5, que à medida que se aumenta o teor de substituição da areia por resíduo cerâmico na mistura, a trabalhabilidade e a consistência da argamassa são modificadas.

Gráfico 5 - Índice de consistência das argamassas



Fonte: Autoria própria (2021)

A partir da análise dos resultados é possível concluir que, a partir de 20%, quanto maior o teor de substituição da areia pelo resíduo cerâmico, menor o espalhamento. Isso, possivelmente, se deve a influência da elevada taxa de absorção de água do RCV em relação a da areia, que, segundo Guindani (2018), tende a

diminuir a quantidade de água livre nas misturas, contribuindo para a redução do espalhamento .

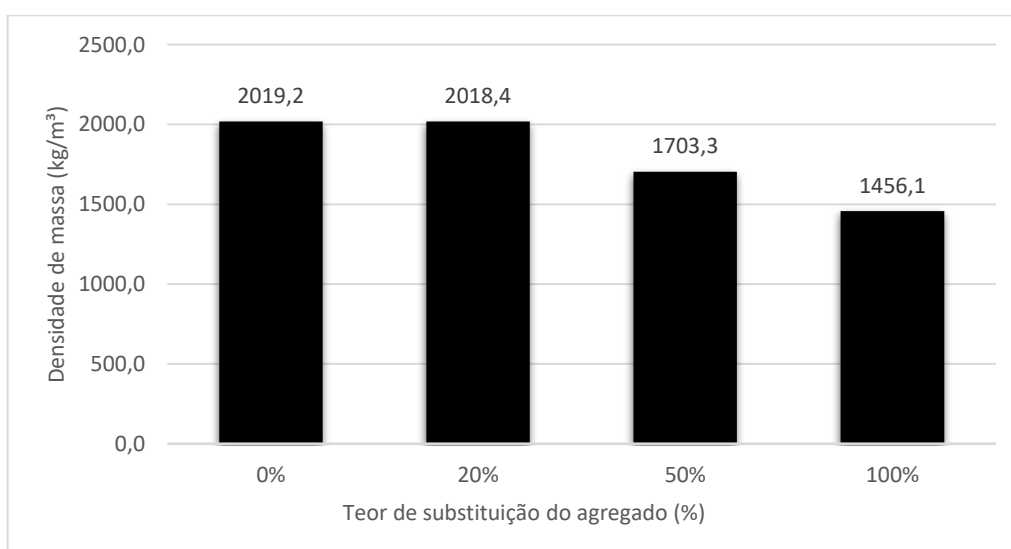
As argamassas com 50% e 100% de substituição apresentaram uma mistura menos fluida, desta forma, o espalhamento delas na mesa de consistência foram menores que as demais formulações. Já a argamassa com 20% de substituição foi a mais próxima da referência.

Esta diminuição no índice de consistência das argamassas condiciona a perda de trabalhabilidade do material, propriedade muito importante no período em que a argamassa se encontra no estado fresco. Logo, percebe-se que, independentemente da justificativa, há um consenso entre as pesquisas (LANDOLFO *et al.*, 2014; PASSOS *et al.*, 2019) quanto ao aumento de consumo de água nas argamassas contendo cerâmica vermelha acima de 20% de substituição, já que para que se possa atingir uma boa trabalhabilidade, é imprescindível que o teor de água aumente.

4.2.2 Densidade de massa

A densidade de massa é uma propriedade importante a ser analisada, pois argamassas mais leves facilitam o manuseio, aumentando conseqüentemente a produtividade (CARASEK, 2010). Desta forma, os resultados de densidade de massa no estado fresco estão apresentados no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Densidade de massa no estado fresco



Fonte: Aatoria própria (2021)

Como era esperado, devido a menor massa específica do RCV, houve redução da densidade de massa da argamassa com o acréscimo do RCV, o agregado mais leve, na mistura. A redução chega a quase 28% quando se compara o traço de referência com a composição de 100% de substituição, e de apenas 1,13% quando comparado a composição de 20%.

De acordo com Carasek (2010), uma argamassa normal é aquela cuja densidade de massa específica fica entre 1400 kg/m³ e 2300 kg/m³, podendo estas serem utilizadas em revestimentos. Desta forma, todas as argamassas desta pesquisa são consideradas normais. Além disso, a NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica as argamassas conforme a densidade no estado fresco, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Classificação das argamassas quanto a densidade de massa

Classe	Densidade de massa no estado fresco (kg/m³)	Método de ensaio
D1	< 1400	ABNT NBR 13278
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2200	
D6	> 2000	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

Desta forma, realizou-se a classificação das argamassas estudadas (Tabela 10). Percebe-se que quanto maior o teor de substituição, menor a classe de densidade de massa no estado fresco da argamassa.

Tabela 10 - Classificação das argamassas estudadas (densidade de massa)

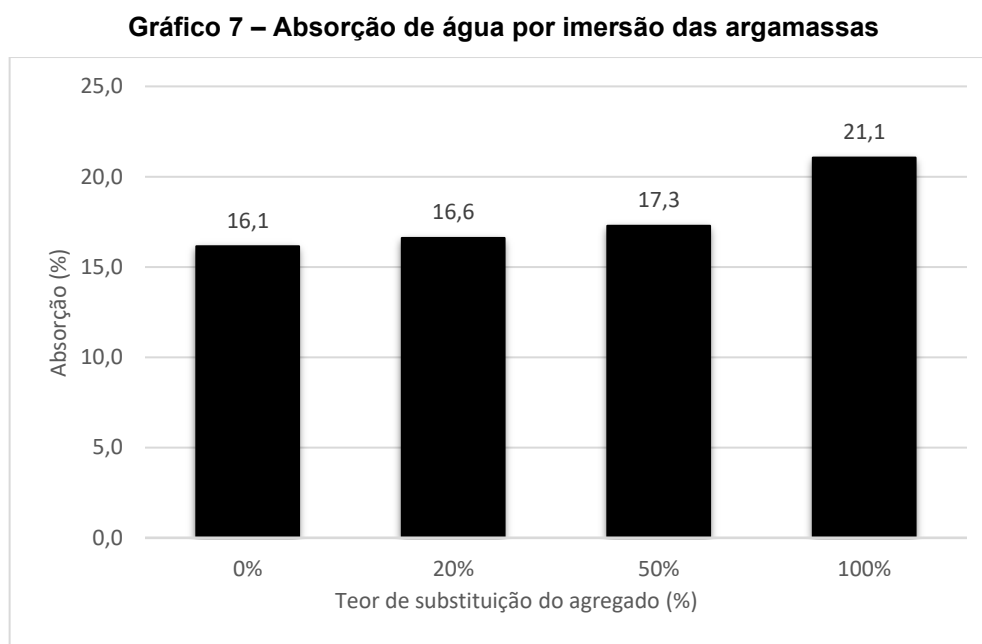
Nomenclatura	Teor de substituição (%)	Densidade de massa no estado fresco	Classe
CP - Ref.	0	2019,20	D6
CP - 20%	20	2018,40	D6
CP - 50%	50	1703,30	D4
CP - 100%	100	1456,10	D2

Fonte: Autoria própria (2021)

4.3 Caracterização das argamassas no estado endurecido

4.3.1 Absorção de água e índice de vazios

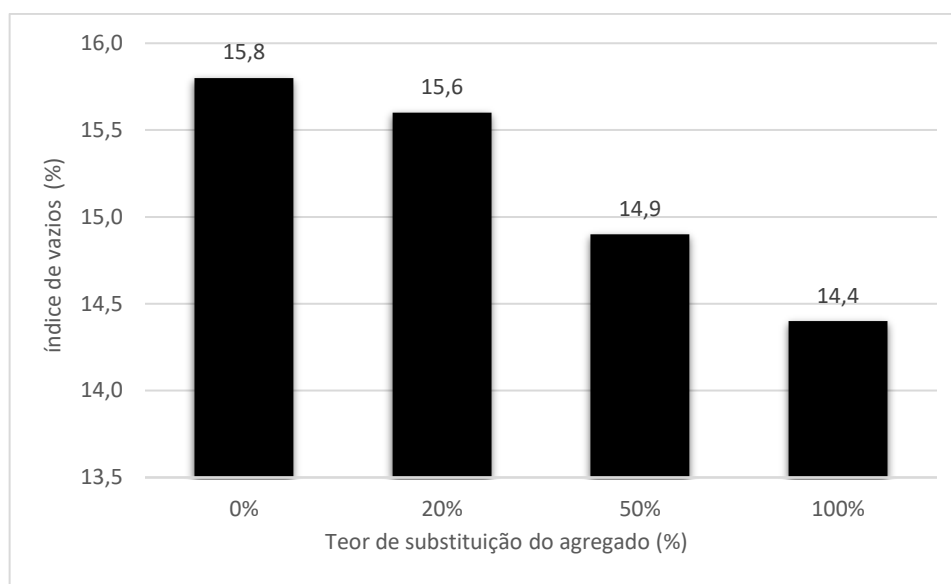
O Gráfico 7 apresenta os resultados obtidos para as argamassas quanto a absorção de água por imersão.



Fonte: Autoria própria (2021)

Percebe-se que conforme o teor de substituição aumentou, a absorção também aumentou, o que já era esperado, devido ao alto teor de absorção de água do resíduo cerâmico.

Observa-se ainda, através do Gráfico 8, que os valores de índices de vazios diminuíram conforme o teor aumentou, provavelmente, devido ao maior empacotamento das partículas.

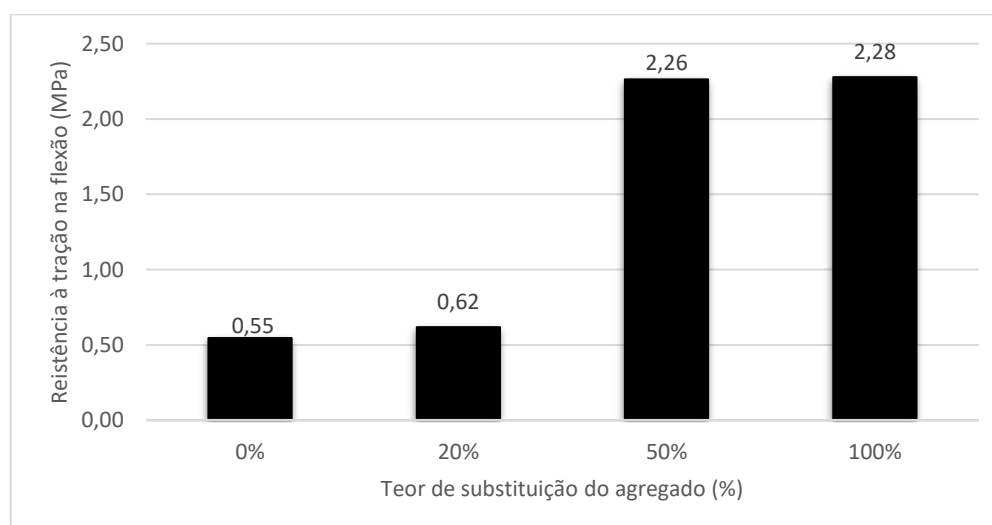
Gráfico 8 - Índices de vazios das argamassas

Fonte: Autoria própria (2021)

Sendo assim, é possível afirmar que a presença de RCV nas argamassas influenciou tanto na absorção de água por imersão como nos índices de vazios.

4.3.2 Resistência à tração na flexão

O Gráfico 9 mostra os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão aos 28 dias.

Gráfico 9 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias

Fonte: Autoria própria (2021)

A partir dos resultados, observa-se que a resistência à tração na flexão aumentou conforme o teor de substituição aumentou, indo de acordo com os estudos de Oliveira *et al.* (2020).

Assim como já mencionado no subitem 4.3.2, a NBR 13281 (ABNT, 2005) não recomenda uma resistência a tração mínima, apenas classifica as argamassas conforme a resistência (Tabela 11).

Tabela 11 - Classificação quanto a resistência à tração na flexão

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

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

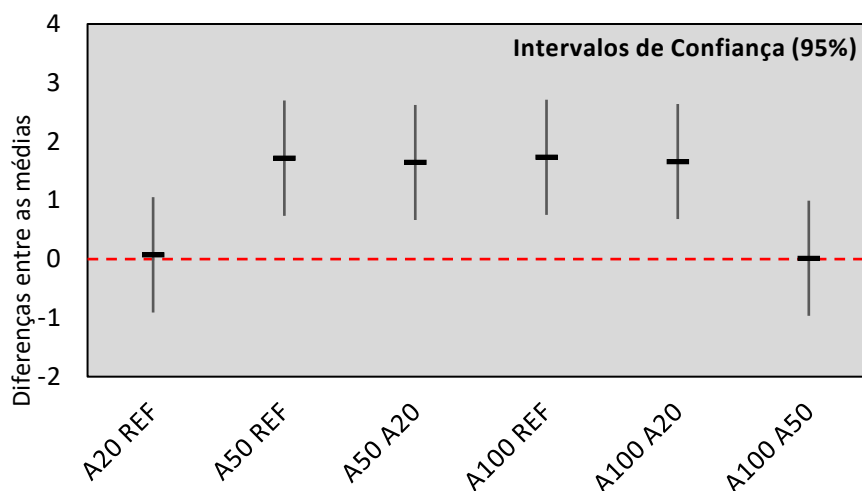
Desta forma, realizou-se a classificação das argamassas estudadas (Tabela 12). Percebe-se que quanto maior o teor de substituição, maior a classe de resistência da argamassa.

Tabela 12 - Classificação das argamassas estudadas (Tração)

Nomenclatura	Teor de substituição	Resistência à tração na flexão (Mpa)	Classe
REF	0%	0,55	R1
A20	20%	0,62	R1
A50	50%	2,26	R4
A100	100%	2,28	R4

Fonte: Autoria própria (2021)

Na Figura 4 são mostradas as diferenças entre as médias significativas, através da análise de variância (ANOVA) e teste Tukey.

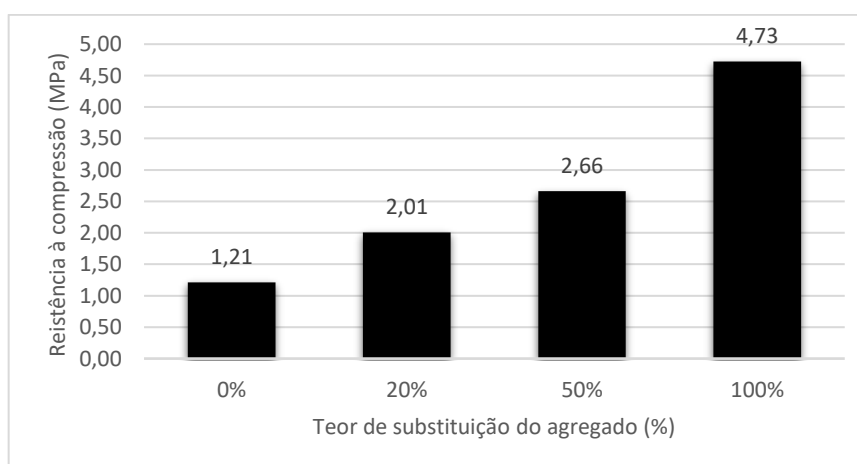
Figura 4 - Análise estatística entre médias para tração (Tukey)

Fonte: Autoria própria (2021)

Pela análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, as argamassas com 50% e 100% apresentaram um aumento de resistência à tração na flexão significativo em relação as argamassas com 20% de substituição e a referência. Os valores médios da resistência à tração na flexão das argamassas de referência e com 20% de substituição foram considerados estatisticamente iguais.

4.3.3 Resistência à compressão

O Gráfico 10 mostra os resultados obtidos nos ensaios de resistência a compressão aos 28 dias.

Gráfico 10 - Resistência à compressão aos 28 dias

Fonte: Autoria própria (2021)

O aumento da resistência com o aumento do teor de substituição está em conformidade com a literatura, Landolfo *et al.* (2014) obteve um aumento da resistência em argamassas com cerâmica branca. Além disso, Passos *et al.* (2019) obteve aumento na resistência de argamassas, sem cal, com resíduo de cerâmica vermelha.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) não recomenda uma resistência a compressão mínima, apenas classifica as argamassas conforme a resistência (Tabela 13 e Tabela 14), deixando a escolha a cargo do projetista.

Tabela 13 - Classificação quanto a resistência à compressão

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

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005)

Desta forma, realizou-se a classificação das argamassas estudadas (Tabela 14). Percebe-se que quanto maior o teor de substituição, maior a classe de resistência da argamassa.

Tabela 14 - Classificação das argamassas estudadas (Compressão)

Nomenclatura	Teor de substituição	Resistência à compressão (Mpa)	Classe
REF	0%	1,21	P1
A20	20%	2,01	P2
A50	50%	2,66	P3
A100	100%	4,73	P4

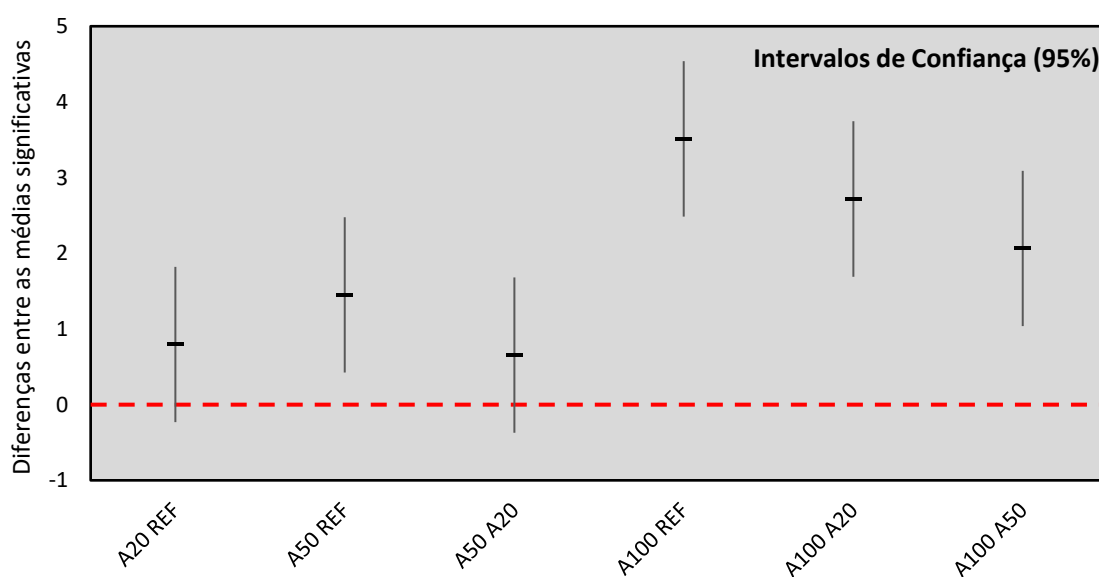
Fonte: Autoria própria (2021)

Pela análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey, os valores médios de resistência à compressão das argamassas com 20% de substituição foram considerados estatisticamente iguais as argamassas de referência.

As argamassas com 100% de substituição de resíduo de cerâmica vermelha apresentaram um aumento significativo na resistência à compressão em comparação as argamassas de referência, com 20% e 50% de substituição de RCV. Esse aumento pode ser justificado pela maior quantidade de finos apresentada pelo agregado cerâmico que contribui para o fechamento dos vazios. Além disso, como o agregado cerâmico possui maior coeficiente de absorção que a areia, pode haver maior aderência entre a pasta e o agregado. As argamassas com 50% de substituição apresentaram um ganho de resistência à compressão quando comparadas a referência.

Na Figura 5 são mostradas as diferenças entre as médias significativas, através da análise de variância (ANOVA) e teste Tukey.

Figura 5 - Análise estatística entre médias para compressão – (Tukey)



Fonte: Autoria própria (2021)

5 CONCLUSÃO

A partir da análise dos resultados experimentais é possível concluir que a substituição de resíduo de cerâmica vermelha com agregado miúdo influencia nas características e no desempenho das argamassas para revestimento.

No estado fresco à medida que aumenta o teor de substituição de resíduos de cerâmica vermelha reduz o espalhamento e conseqüentemente, diminui a trabalhabilidade das argamassas de revestimento. Ainda no estado fresco, a densidade das argamassas diminuiu conforme o teor de substituição aumentou.

No estado endurecido, foi possível concluir que quanto maior o teor de substituição, maior a absorção de água. Para os ensaios de resistência à compressão, as argamassas com 100% de substituição de RCV apresentaram um desempenho melhor e um aumento significativo em comparação com as demais argamassas. Quanto a resistência à tração na flexão os teores de substituição de 50% e 100% potencializaram o desempenho, aumentando significativamente em relação as argamassas de referência e com 20% de substituição.

De forma geral, os resíduos cerâmicos contribuíram para as propriedades relacionadas às argamassas para revestimento, principalmente no estado endurecido, no qual potencializaram o desempenho mecânico.

REFERÊNCIAS

ABCERAM, Associação Brasileira de Cerâmica, 2021. **Informações Técnicas - Processos de Fabricação**. Disponível em: <https://abceram.org.br/processo-de-fabricacao/>. Acesso em: 15 agosto 2021.

ABCP, Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de Revestimentos de Argamassa**. São Paulo: Abcp, 2002. 104 p.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas - requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 11172**: Aglomerantes de origem mineral. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 11768-1**: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 15839**: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *squeeze-flow*. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR 7211**: Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NBR NM 49**: Agregado miúdo – impurezas orgânicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NM 30**: Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NM 45**: Determinação da Massa Unitária de Agregados. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ABNT (Associação Brasileira De Normas Técnicas). **NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABRELPE. 2011. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2010/>. Acesso em: 13 de abril de 2021.

ABRELPE. 2021. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 15 de agosto de 2021.

ALEXANDRE, Jonas *et al.*, 2013. Incorporação de resíduo de cerâmica vermelha em argamassas de múltiplo uso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 57., 2013, Natal. **Anais [...]**. Natal: CBC, 2013.

ANEPAC. **O Mercado de Agregados no Brasil**. São Paulo: Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados Para Construção, 2020. 11 p.

ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H., 2003, **Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., São Paulo.

ANGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Eduardo; JOHN, Vanderley Moacyr. Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil. **Anais**. São Paulo: IBRACON, 2001.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTO (ANFACER). **Números do Setor Cerâmico**. Disponível em: <https://www.anfacer.org.br/setor-ceramico/numeros-do-setor>. Acesso em: 01 ago. 2021.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (1986) **Resolução CONAMA nº. 001, de 23 de janeiro de 1986**. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 1986.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. (2002) **Resolução CONAMA nº. 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil. Ministério do Meio Ambiente: CONAMA, 2002.

BUSTAMANTE, Gladstone Motta; BRESSIANI, José Carlos. A indústria cerâmica brasileira. **Cerâmica Industrial**: Revista do técnico cerâmico brasileiro, São Paulo, v. 3, n. 5, p. 31-36, maio 2020.

CABRAL JUNIOR, Marcis *et al.* O suprimento de matérias-primas para a indústria da cerâmica vermelha no Brasil. **Anicer**, Rio de Janeiro, v. 73, n. p. 24-31, dez. 2011.

CAO, Y.; ZAVATERRI, P.; YOUNGBLOOD, J.; MOON, R.; WEISS, J. The influence of cellulose nanocrystal additions on the performance of cement paste. **Cement and Concrete Composites**, v. 56, p. 73-83, 2015.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. In: Geraldo C. Isaia, *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*, 2 ed. São Paulo: IBRACON, 2007. cap. 28.

CARASEK, Helena. **Argamassas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 893-941.

CASTRO, A. L. *et al.* VALIAÇÃO DA REATIVIDADE DE POZOLANA OBTIDA A PARTIR DE RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 58., 2014, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: Cbc, 2014. p. 3034-3045.

CINCOTTO, M. A. 1995. Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas 118 p. **Boletim Técnico 68 IPT**.

DNER. **DNER – ME 192/97**: Agregados – determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1997.

DUBAJ, Eduardo. **Estudo Comparativo entre Traços de Argamassa de Revestimento Utilizadas em Porto Alegre**. 2000. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2000.

FERNANDES, Sara Seicenti. **Estudo da geração de resíduos da construção civil em Maringá/PR**. 2014. 52 f. Curso de Engenharia de Produção, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

FONSECA, Carlos Alberto Felix *et al.* Mercado de Agregados no Brasil. In: JORNADA DA INICIAÇÃO CIENTIFICA, 10., 2012, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Cetem, 2012. p. 1-4.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GUINDANI, Eduardo Nobre. **Argamassa estabilizada para revestimento: avaliação da influência da adição de finos nas propriedades do estado fresco e endurecido**. 2018. 157 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

HANSEN, Sandro. **Gestão Socioambiental: Meio Ambiente na Construção Civil**. Florianópolis, SC. SENAI/SC, 2008.

KLEPA, Rogerio Bonette *et al.* Reuse of construction waste to produce thermoluminescent sensor for use in highway traffic control. **Journal Of Cleaner Production**. [S. L.], p. 250-258. 01 fev. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618332517?via%3Dihub>. Acesso em: 10 jul. 2021.

LANDOLFO, Ruan *et al.* Estudo Comparativo da Utilização de Resíduo Cerâmico, como Agregado Graúdo, na Produção de Concreto. **Cerâmica Industrial**, Mossoró, v. 19, n. 5, p. 35-41, out. 2014.

LINTZ, R. C. C. *et al.* Estudo do reaproveitamento de resíduos de construção em concretos empregados na fabricação de blocos. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 166-181, abr. 2012.

MACEDO, Antonio Márcio de Araújo *et al.* Influência da incorporação de RCD em argamassas. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 74., 2019, São Paulo. **Artigo**. São Paulo: Abm, 2019. p. 1-8.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 310 p.

MATTOS, Ludmila Ribeiro. **Identificação e caracterização das argamassa para revestimento externo utilizadas na cidade de Belém-PA**. 2001. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). 2009. **Análise-Síntese da transformação mineral do Brasil**. Brasil: Projeto Estal, 2009.

MOTTA, Elaine Aparecida Machado da; FANTIN, Tania Valentin de Lima; HENTGES, Tatiane Isabel. AVALIAÇÃO TÉCNICA E AMBIENTAL DE CONCRETOS CONTENDO RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA COMO SUBSTITUIÇÃO COMBINADA DE CIMENTO E AGREGADO MIÚDO. **Revista Tecnológica**, [S.L.], v. 29, n. 2, p. 447-459, 28 mar. 2020. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/revtecnol.v29i2.51780>.

NOVAES, Marcos de Vasconcelos; MOURÃO, Carlos Alexandre Martiniano do Amaral. **Manual de Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos na Construção Civil**. Fortaleza: Coopercon – Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará, 2008.

OLIVEIRA, Luis *et al.* INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DA CAL POR RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA NAS PROPRIEDADES DO ESTADO ENDURECIDO DE ARGAMASSAS MISTAS. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUIDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Entac, 2020. p. 1-8.

ORTH, Cíntia Madureira; BALDIN, Nelma; ZANOTELLI, Cladir Teresinha. A geração de resíduos sólidos em um processo produtivo de uma indústria automobilística: uma contribuição para a redução. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 21, n. 2, p. 447-460, jun. 2014. FapUNIFESP (SciELO).

PASSOS, Luciano *et al.* Durabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo proveniente de resíduo de cerâmica vermelha. **Revista Matéria**, São Paulo, v. 25, n. 02, p. 1-13, jul. 2019

PINTO, Tarcísio de Paula. **Gestão Ambiental de Resíduos da Construção Civil: a experiência do SINDUSCON-SP**. São Paulo, 2005. 48p

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção civil**. 1999. 218 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, São Paulo, 1999.

PINZ, Francielli Priebbernow; PALIGA, Charlei Marcelo; DA SILVA TORRES, Ariela. Estudo da influência do resíduo de cerâmica vermelha, como substituinte parcial ao aglomerante ou ao agregado, em argamassas mistas para revestimento. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 11, p. e90191110507-e90191110507, 2020.

PIOVEZAN JÚNIOR, Gilson Tadeu Amaral. **Avaliação dos resíduos da construção civil (RCC) gerados no município de Santa Maria**. 2007. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

QUEIROZ NETO, Manoel Lindolfo *et al.* Geração de Resíduo Sólido Proveniente da Fabricação de Cerâmica Vermelha: caso de indústria cerâmica na região de Assú/RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande. **ANAIS - CONGRESSOS BRASILEIROS DE GESTÃO AMBIENTAL**. Campina Grande: Ufcg, 2016. p. 1-5. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/II-011.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2021.

SALES, A. T. C.; ALFERES FILHO, R. dos S. Efeito do pó de resíduo cerâmico como adição ativa para o concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 113-125, jan./mar. 2014.

SALOMÃO, M.C.F.; BAUER, E.; KAZMIERCZAK, C.S. Drying parameters of rendering mortars. **Ambiente Construído**, v.18, n. 2, p. 7-19, 2018.

SANTO, Juliete de Oliveira *et al.* Resíduos da indústria da construção civil e o seu processo de reciclagem para minimização dos impactos ambientais. **Cadernos de Graduação: Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 1, n. 1, p. 73-84, maio 2014.

SCHWENGBER, Estela Regina. **Resíduos da Construção Civil**. 2015. 82 f. Monografia (Especialização) - Curso de Direito Ambiental Nacional e Internacional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015

SEBRAE. **Construção Civil: cerâmica vermelha**. Cerâmica Vermelha. 2015. Disponível em:

[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/\\$File/5846.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/b877f9b38e787b32594c8b6e5c39b244/$File/5846.pdf). Acesso em: 09 jul. 2021.

SILVA, Amanda Vieira e. **Análise do processo produtivo dos tijolos cerâmicos no estado do Ceará**: da extração da matéria-prima à fabricação. 2009. 104 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

SILVA, Narciso. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária**. 2006. 164f. Tese (Mestrado em engenharia civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA JUNIOR, J.e.S *et al.* Reciclagem de rejeitos de cerâmica branca para obtenção de argamassas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 1., 2002, Natal. **Anais [...]** . Natal: Cbecimat, 2002.

SJOSTROM, C. Durability and Sustainable Use of Building Materials. In: LLEWELLYN, J. W.; DAVIES, H. (Eds.). **Sustainable Use of Materials**. London: BRE; Rilem, 1992.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de. **Como reduzir perdas nos canteiros**: manual de gestão do consumo de materiais na construção civil. São Paulo: Pini, 2005