

**LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

MARIA TEREZA DE LIMA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE CONCRETO E ARGAMASSA DE REBOCO COM ADIÇÃO DE
RESÍDUO DE PORCELANATO E DE CERÂMICA**

NATAL/RN

2022

MARIA TEREZA DE LIMA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE CONCRETO E ARGAMASSA DE REBOCO COM ADIÇÃO DE
RESÍDUO DE PORCELANATO E DE CERÂMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

NATAL/RN

2022

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN

Setor de Processos Técnicos

Silva, Maria Tereza de Lima.

Utilização de concreto e argamassa de reboco com adição de resíduo de porcelanato e de cerâmica. / Maria Tereza de Lima. – Natal, 2022.
68f.

Orientador: Profº. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Engenharia civil – Monografia. 2. Argamassa – Monografia. 3. Concreto – Monografia. 4. Resíduos – Monografia. 5. Cerâmica – Monografia. 6. Porcelanato – Monografia. I. Pereira, Fábio Sérgio da Costa. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

MARIA TEREZA DE LIMA SILVA

**UTILIZAÇÃO DE CONCRETO E ARGAMASSA DE REBOCO COM ADIÇÃO DE
RESÍDUO DE PORCELANATO E DE CERÂMICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof. PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira.

Orientador

Prof. Dr. Carlos Gomes de Moura.

Membro Interno

Prof. Esp. Mário César Nogueira.

Membro Externo

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre se dedicaram ao máximo para que tudo pudesse acontecer, em segundo e não menos importantes as minhas irmãs e a minha tia Leide, que sempre me apoiaram e me incentivaram a estudar o que sempre almejei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e pela oportunidade de adquirir todo esse aprendizado, e por não me faltar nada neste caminho.

Aos meus pais, que sempre se dedicaram ao máximo para incentivar a educação que tenho hoje, ensinando desde cedo os princípios da vida e a forma de amar incondicionalmente tudo o que faço hoje.

À minha tia materna Leide Vidal, por assumir o papel de mãe, e me dar todo o apoio para continuar nessa jornada, desde sempre me ensinando e me orientando sobre o mundo e todas as coisas boas que temos ao nosso redor, sem esse apoio com certeza eu não seria o que me tornei hoje.

As minhas irmãs, Marina e Mariana, que são minhas fontes de inspiração de todo dia, sempre me espelhando nelas, procurei e encontrei a profissão que sonhei, e sou extremamente orgulhosa pelos caminhos que estamos seguindo.

Agradeço a todos os familiares que de alguma forma me ajudaram e incentivaram a conclusão deste objetivo.

A toda equipe do laboratório de engenharia civil do UNI-RN, e aos meus colegas de curso que sempre estavam comigo desde o início ao fim dos ensaios laboratoriais.

Agradeço a todos os meus amigos por me proporcionarem momentos descontraídos ao decorrer deste curso.

Ao meu orientador, professor PhD. Fábio Sérgio da Costa Pereira, pelo auxílio, dedicação, e pelos ensinamentos compartilhados durante a orientação desde trabalho, principalmente pela escolha deste tema.

RESUMO

O cenário da construção civil é representado e responsável por gerar grande quantidade de resíduos, os mesmos que, quando não descartados corretamente causam diversos problemas que não somente atingem a sociedade, como também o meio ambiente. Dentre diversos materiais descartados, os resíduos de porcelanato e de cerâmica, apresentam qualidades que podem favorecer a substituição de alguns componentes presentes neste setor industrial. Desta forma, esse estudo busca avaliar diversas formas apropriadas onde esses resíduos podem ser reutilizados, principalmente no campo da construção civil, substituindo percentuais de agregados em argamassas e concretos. O presente trabalho teve como foco principal avaliar a utilização de rejeitos geridos através de revestimentos cerâmicos (resíduos de cerâmica e porcelanato), como substituição da areia para a confecção de argamassas cimentícias e concreto estrutural. Foram avaliados dois resíduos, cerâmico e porcelanato, ambos gerados através do polimento do material e da trituração e moagem dos mesmos. Estes resíduos foram caracterizados quanto à sua distribuição granulométrica e composição química. Para a confecção dos corpos de prova foram utilizadas formas cilíndricas de 10 cm (diâmetro) x 20 cm (altura) e outras de 15 cm (diâmetro) x 30 cm (altura), nas quais foram moldados e submetidos a ensaios de resistência à compressão após 28 dias de cura. Além de ensaios de absorção de água para as argamassas e concretos e ensaio de resistência de aderência à tração (*"pull-off test"*) para argamassas cimentícias. Os resultados mostram que, houve um aumento na relação água/cimento tanto nas argamassas como no concreto produzido, decorrente de se tratar da utilização de materiais (resíduos) que necessitam de uma maior quantidade de água para ter a plasticidade na aplicação das argamassas e compacidade nos concretos necessária produzindo assim uma redução da sua resistência à compressão pretendida quando comparados com os traços tradicionais de argamassas e de concreto, podendo as argamassas serem utilizadas principalmente em virtude de seu custo inferior e resultados superiores das normas vigentes e os concretos também devem ser utilizados pela obtenção de custo inferior do concreto tradicional e resultados superiores das normas vigentes para fins não estruturais e para concretos estruturais para ambientes rurais.

Palavras-chave: Argamassa. Concreto. Resíduos. Cerâmica. Porcelanato.

ABSTRACT

The civil construction scenario is also a cause of problems because it generates a lot of the environment, they do not cause problems, such as those that are discarded correctly, that do not serve correctly. Among several discarded materials, porcelain and ceramic waste have qualities that can favor the replacement of some components present in this industrial sector. In this way, this study mainly evaluates appropriate forms of reuse, where these materials can be aggregated, in the field of civil construction, mainly replacing mortars and concrete. The main focus of the present work was to evaluate the use of waste managed through ceramic coatings (ceramic and porcelain waste), as a replacement of sand for the manufacture of cement mortars and structural concrete. Two residues were evaluated, ceramic and porcelain, both generated by polishing the material and grinding and grinding it. These residues were characterized in terms of their granulometric distribution and chemical composition. To make the specimens, cylindrical shapes measuring 10x20cm and 15x30cm were used, in which they were molded and subjected to compressive strength tests after 28 days of curing. In addition to water absorption tests for mortars and concrete and Pull-off (adhesion) for cementitious mortars. The results show that there was an increase in the water/cement ratio both in the mortars and in the concrete produced, due to the use of materials (waste) that require a greater amount of water to have plasticity in the application of mortars and compactness. in the necessary concrete, thus producing a reduction of its intended compressive strength when compared to the traditional traits of mortars and concrete, and the mortars can be used mainly because of their lower cost and superior results of the current norms and the concrete must also be used by the obtaining a lower cost of traditional concrete and superior results of the current norms for non-structural purposes and for structural concretes for rural environments.

Keyword: Mortar. Concrete. Waste. Ceramics. Porcelain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cimento tipo CPVARI.....	19
Figura 2: Areia fina para argamassa.....	20
Figura 3: Areia grossa para concreto.....	20
Figura 4: Resíduo cerâmico tipo <i>Fíller</i>	21
Figura 5: Resíduo cerâmico branco do porcelanato.....	22
Figura 6: Materiais incorporados para argamassa.....	22
Figura 7: Materiais incorporados para concreto.....	23
Figura 8: Mistura com adição da água argamassa.....	24
Figura 9: Mistura na betoneira para fabricação do concreto.....	24
Figura 10: Argamassa finalizada e no CP's cilíndrico.....	25
Figura 11: Material adensado nos CP's.....	25
Figura 12: Pesagem do Corpo de prova seco.....	26
Figura 13: Pesagem do Corpo de prova saturado.....	27
Figura 14: Corpos de prova imersos na água para cura.....	27
Figura 15: Prensa hidráulica com corpo de prova.....	28
Figura 16: Aplicação da argamassa em substrato.....	29
Figura 17: Dinamômetro de tração.....	30
Figura 18: Descolamento do material.....	31
Figura 19: Gráfico de resistência à tração na flexão.....	36
Figura 20: Gráfico de resistência à compressão.....	36
Figura 2117: Diferentes alternativas de revestimentos de parede.....	44
Figura 22: Fatores de aderência à tração para revestimentos.....	51
Figura 2318: Fatores de influência de argamassa sobre bases porosas.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de espessuras para revestimentos.....	43
Tabela 2: Resultados da resistência à compressão argamassa com cerâmica.....	54
Tabela 3: Resultados da resistência à compressão argamassa com porcelanato.....	55
Tabela 4: Resultados da resistência à compressão concreto com cerâmica.....	55
Tabela 5: Resultados da resistência à compressão concreto com porcelanato.....	56
Tabela 6: Resultados de resistência de aderência à tração argamassa com cerâmica....	56
Tabela 7: Resultados de resistência de aderência à tração argamassa com porcelanato	57
Tabela 8: Resultados dos ensaios de absorção de água argamassa com cerâmica.....	58
Tabela 9: Resultados dos ensaios de absorção de água argamassa com porcelanato.....	58
Tabela 10: Resultados dos ensaios de absorção de água concreto com cerâmica.....	59
Tabela 11: Resultados dos ensaios de absorção de água concreto com porcelanato.....	59

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 12: Porcentagem de absorção.....	26
-------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 GERAL.....	16
2.2 ESPECÍFICOS	16
3. JUSTIFICATIVA	17
4. METODOLOGIA	18
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	18
4.2 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E SEU TRAÇO.....	23
4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO.....	26
4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	28
4.5 APLICAÇÃO DE ARGAMASSA EM SUBSTRATO.....	29
4.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO.....	30
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
5.1 RESÍDUOS.....	31
5.1.1 Tipo de resíduo de cerâmica e sua utilização	32
5.1.2 Processo resíduo	33
5.1.3 Reutilização de resíduos de cerâmica	34
5.2 COMPORTAMENTO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS.....	35
5.2.1 Propriedades mecânicas	37
5.2.2 Características físicas	38
5.2.3 Durabilidade	39
5.3 ESTUDO DE COMPÓSITO DE MATRIZ CIMENTÍCIA E RESÍDUO DE CERÂMICA.....	40
5.3.1 Compósitos de cimento Portland e resíduo de cerâmica	40
5.4 ARGAMASSAS	41
5.4.1 Histórico das argamassas	41
5.4.2 Argamassa de revestimento	42
5.4.3 Estrutura dos revestimentos	43
5.4.3.1 Substrato	44
5.4.3.2 Chapisco	45
5.4.3.3 Emboço	45
5.4.3.4 Reboco	46
5.4.3.5 Camada Única	46
5.4.3.6 Revestimento decorativo (ou monocapa) – RDM	47
5.5 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO.....	47
5.5.1 Propriedades no estado fresco	47
5.5.1.1 Trabalhabilidade	47
5.5.1.2 Adesão inicial	48
5.5.1.3 Retenção de água	49
5.5.1.4 Massa específica e teor de ar incorporado	49

5.5.2 Propriedades no estado endurecido.....	50
5.5.2.1 Aderência.....	50
5.5.2.2 Capacidade de absorção e deformações.....	52
5.5.2.3 Retração.....	52
5.5.2.4 Resistência mecânica.....	53
5.5.2.5 Durabilidade.....	53
5.6 CONCRETOS.....	53
5.6.1 Histórico dos concretos.....	53
5.6.2 Dosagem do concreto.....	54
5.6.3 Resistência à Compressão do Concreto.....	55
5.6.4 Resistência à Tração.....	56
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
6.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E RESISTENCIA À COMPRESSÃO.....	57
6.2 RESULTADO PARA O ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	60
7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ARGAMASSA E DO CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CERÂMICA E PORCELANATO.....	63
8 CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os estudos sobre materiais e tecnologias construtivas referentes à utilização de resíduos como um substituto, vem sendo cada vez mais realizados, criando produtos sustentáveis.

Na construção civil, o cimento é o material mais utilizado atualmente. Assim, a produção de argamassas e concretos mais econômicos, duráveis e sustentáveis é de extrema importância, pois há um grande consumo de energia na fabricação do cimento Portland. A indústria de revestimentos cerâmicos tem participação significativa na produção desse resíduo. Os materiais de construção, especialmente o concreto, têm motivado o interesse da reciclagem de resíduos industriais. A tecnologia simples aplicada em sua mistura, o grande volume produzido, a uniformidade e o crescimento do número de obras são fatores de incentivo.

Além dos altos valores econômicos relacionados com a deposição do material em aterros, surgem também os problemas ambientais que envolvem a contaminação do solo e do lençol freático, e o ataque à vegetação presente no local. A reutilização e a reciclagem são recursos para resíduos industriais, incluindo o resíduo gerado no polimento de porcelanato. Elas resultam na redução de custos, na preservação dos recursos naturais não renováveis e reduzem a emissão de poluentes para o meio ambiente.

Apesar dos impactos negativos que o setor da construção civil gera gradativamente, existem um lado do mesmo que busca solucionar e amenizar esses transtornos. A destinação destes resíduos se tornou uma tarefa que vem sendo explorada cada vez mais. Por se tratar de materiais que não tem finalidade destinada, são assim descartados e prejudicam ainda mais o meio ambiente.

Com o estudo e análises sobre as suas propriedades, comportamentos e componentes das argamassas, foram criadas diversas versões específicas para cada uma função. Na prática, já são encontradas argamassas com as mais variáveis utilidades, sejam elas industrializadas, produzidas *“in loco”*,

todas **são** aplicadas de acordo com suas características e especificações, com o intuito de direcionar maior qualidade e garantias na sua instalação final.

Desta forma, com análise do cenário desta indústria, que cresce cada dia mais, apresentou-se a oportunidade de estudar e elaborar novos materiais produzidos através de resíduos que são descartados, e que poderão impactar benéficamente o ramo da construção civil, como exemplo, a redução na extração de matérias-primas, além da diminuição do volume do material a ser descartado.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O presente trabalho tem como base o estudo sobre bibliografias que apresentaram estudos relacionados a argamassas e ao concreto com adição do resíduo de cerâmica e porcelanato e a determinação se o material produzido com o rejeito que seria descartado no seu processo final na construção civil é ou não adequado para o uso na argamassa em revestimento interno e externo ou no concreto para ambiente rural ou urbano, através do estudo e ensaios no laboratório. As características destas novas argamassas e concreto, incluem a redução da quantidade de areia normalmente usada e a adição de resíduos em 30% e 10% respectivamente no seu produto final, com análise de utilização e de custo produtivo, após os resultados obtidos.

2.2 ESPECÍFICOS

O objetivo específico da pesquisa foi explorar a utilização de recursos que são descartados e que geram resíduos na construção civil (RCC), através de análises de ensaios de resistência à compressão, de absorção de água e de resistência de aderência à tração, chegando a um traço para as argamassas e concreto com utilização do resíduo de cerâmica e de porcelanato, com o intuito de diminuir o uso de recurso natural na escolha, e portanto, gerar economia da areia na sua produção diminuindo o custo final de argamassa e do concreto.

3 JUSTIFICATIVA

Ao observar a lacuna existente na exploração acadêmica da utilização de resíduos de cerâmicas e de porcelanatos em argamassas e concretos, notou-se a viabilidade de elaborar materiais que podem oferecer as mesmas características, mas substituindo um recurso natural por um recurso que seria descartado.

Além destas propriedades, existe o desenvolvimento de materiais que contribuem com o meio ambiente, uma vez que, utilizam materiais descartados e os direciona para a reutilização dos mesmos, contribuindo diretamente para a natureza.

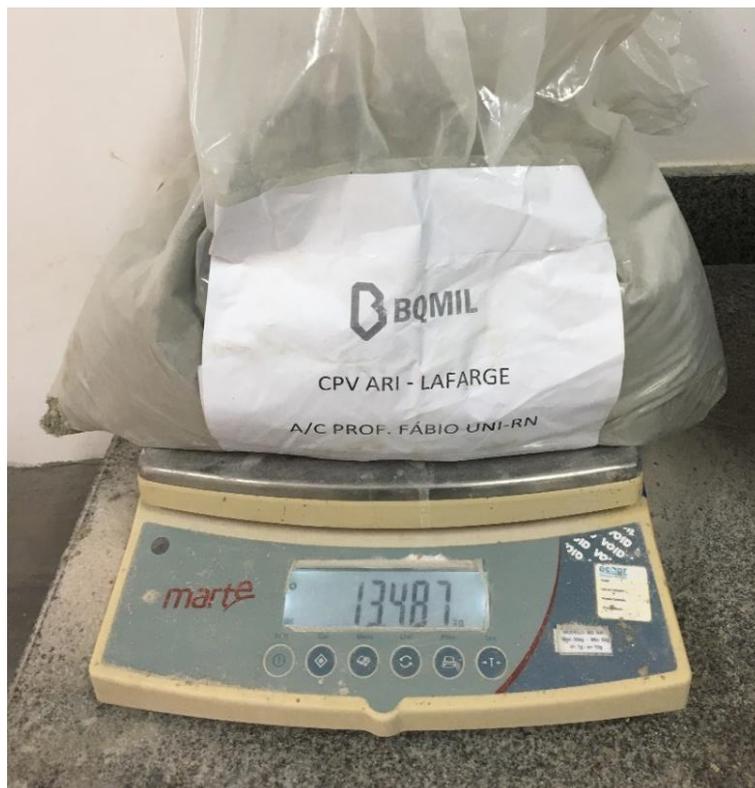
4 METODOLOGIA

Foi utilizado o método de pesquisa descritiva com a finalidade de analisar os resultados através de ensaios de resistência à compressão e de absorção de água através da produção e rompimento de 63 (sessenta e três) corpos de prova cilíndricos, assim como a realização do ensaio de resistência de aderência à tração por meio do “*pull-off test*” em 02 (dois) substratos de concreto onde foram aplicados nestes o reboco.

Para a realização dos ensaios, foram utilizados os seguintes materiais, cimentos Portland (CP II POZOLÂNICO e CPV ARI) de marca Nacional, brita nº19, areia lavada de granulometria fina e grossa, água oriunda da Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN) e o resíduo de cerâmica (Fíller) e resíduo cerâmico branco de porcelanato (Fíller) fornecidos pela BQMIL – Brasil Química e Mineração Industrial Ltda.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

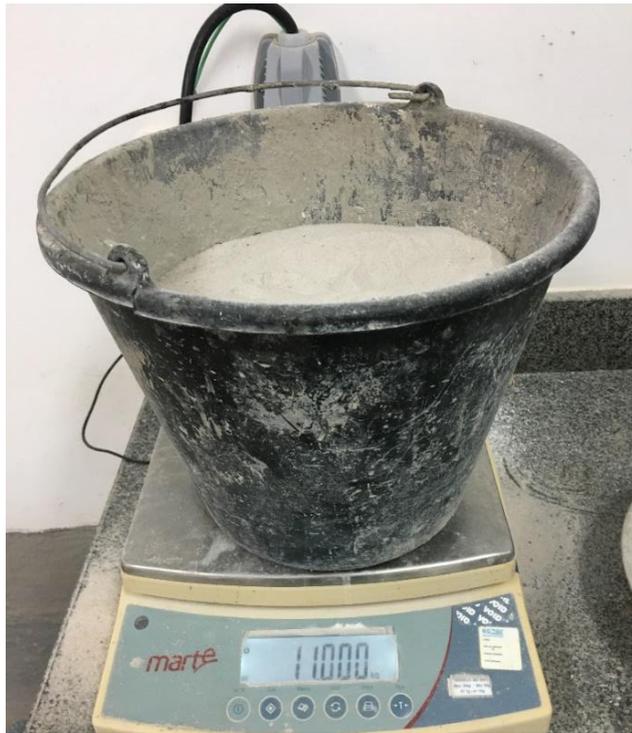
Na fabricação dos corpos de prova foi utilizado o cimento Portland (CP II POZOLÂNICO) para o estudo do concreto e o cimento Portland (CPV ARI) para o estudo da argamassa, adequado para uso em ambientes agressivos, ambientes úmidos e obras marítimas, como mostra a figura 1.

Figura1 - Cimento tipo CPV ARI

Fonte: Autora (2020).

Outro material utilizado foi a areia grossa (o agregado miúdo) para a produção do concreto, e a areia fina, como mostra a figura, que por sua vez é o mais indicado para reboco por fornecer uma superfície mais lisa, ou seja, menos poroso fator que agrega melhor acabamento. O peneiramento foi feito com tela de 2,4 mm.

Figura 2 - Areia fina para argamassa



Fonte: Autora (2020).

Figura 3 - Areia grossa para concreto



Fonte: Autora (2020).

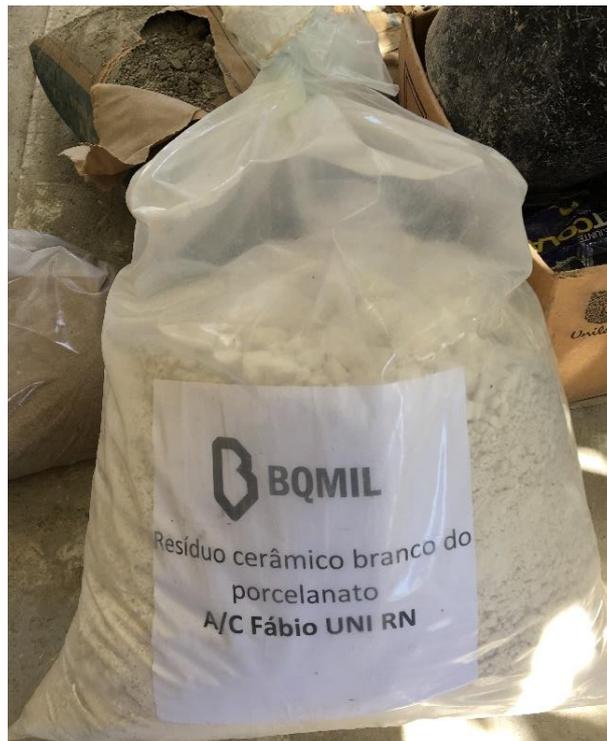
E como principal item de avaliação para confecção do material, foram utilizados os resíduos de cerâmica e porcelanato, como mostram as imagens a seguir.

Figura 4 - Resíduo cerâmico tipo *Fíller*



Fonte: Autora (2020).

Figura 5 - Resíduo cerâmico branco do porcelanato



Fonte: Autora (2020).

Figura 6 - Materiais incorporados para argamassa



Fonte: Autora (2020).

Figura 7 - Materiais incorporados para concreto



Fonte: Autora (2020).

4.2 FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E SEU TRAÇO

Para os ensaios foram produzidos 63 (sessenta e três) corpos de prova cilíndrico com o auxílio de moldes plásticos de dimensões (10 cm x 20 cm e 15 cm x 30 cm), ilustrado na figura, com as devidas quantidades de cada material a ser utilizado no traço. A fabricação da argamassa foi realizada manualmente no piso, com auxílio de uma pá quadrada e uma colher de pedreiro, diferentemente da fabricação dos corpos de prova de concreto, que foram executados com o auxílio de uma betoneira.

Figura 8 - Mistura com adição da água-argamassa



Fonte: Autora (2020).

Figura 9 - Mistura na betoneira para fabricação do concreto



Fonte: Autora (2020).

Figura 10 - Argamassa finalizada e no CP's cilíndrico



Fonte: Autora (2020).

Figura 11 - Material adensado nos CP's



Fonte: Autora (2020).

4.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO

Após definir o traço foram confeccionados os corpos de prova, onde os mesmos foram pesados numa balança digital antes de serem submersos, e após 24 (vinte e quatro) horas de submersão no tanque contendo água, os mesmos foram retirados e pesados novamente para encontrar a porcentagem de absorção de água em cada corpo de prova. Para a porcentagem de absorção da argamassa foi feita uma comparação com a porcentagem de absorção do concreto que segundo a NBR 9778, ABNT (2009), não pode ultrapassar 10 (dez) por cento de absorção, e considerando a (Equação 1). Tal processo está ilustrado nas figuras.

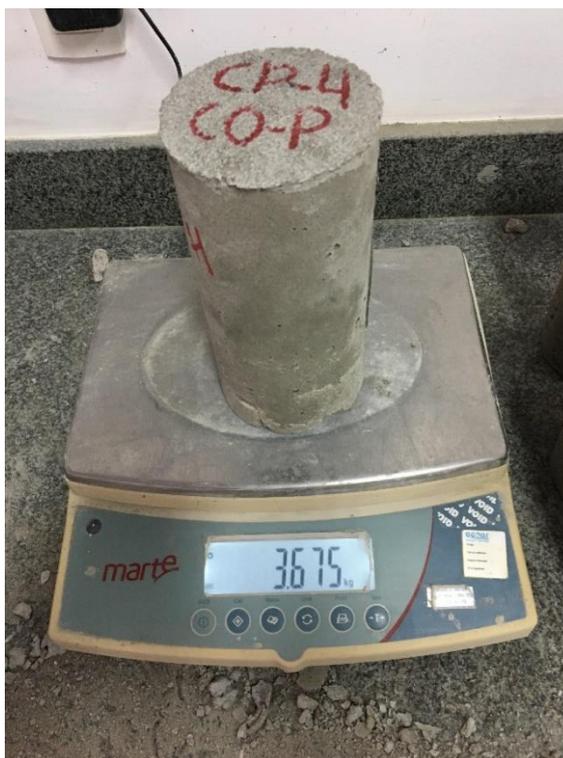
Equação 1 - Porcentagem de absorção

$$\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \times 100$$

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

M_s = massa do corpo de prova seco.

Figura 12 – Pesagem do Corpo de prova seco



Fonte: Autora (2020).

Figura 13 – Pesagem do Corpo de prova saturado



Fonte: Autora (2020).

Figura 14 - Corpos de prova imersos na água para cura



Fonte: Autora (2020).

4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Apesar de as argamassas para reboco não possuírem a finalidade de resistir aos esforços de compressão, não sendo exigido um valor para esse ensaio, o traço utilizado proporcionará boa resistência. Para sua execução seguiu-se a NBR 5739, ABNT (2018), e após os 28 (vinte e oito) dias de cura foi realizado o ensaio de compressão em todos os corpos de prova de dimensões (10 cm x 20 cm), onde foram postos na prensa hidráulica com leitor digital para se chegar a um resultado de resistência como mostra a (figura 15). O mesmo procedimento ocorreu para os corpos de prova de concreto, diferente das argamassas o ensaio é de fundamental importância, pois irá avaliar em qual ambiente o material deverá estar inserido de acordo com sua resistência.

Figura 15 - Prensa hidráulica com corpo de prova



Fonte: Autora (2020).

4.5 APLICAÇÃO DE ARGAMASSA EM SUBSTRATO

Além da importância da impermeabilização, as argamassas precisam ter boa resistência de aderência à tração, onde segundo a NBR 13528, ABNT (2019), é estabelecido uma resistência de 0,3 MPa para ambientes externos e 0,2 MPa para ambientes internos. Foi feito a aplicação do reboco com a utilização da argamassa com adição de 30 (trinta) por cento de resíduos de porcelanato em placas de substrato de concreto, com dimensões de 35 cm x 35 cm, e espessura de 2 cm, como mostra a (figura 16), de tal forma podendo notar uma boa trabalhabilidade da argamassa, promovendo um bom acabamento na superfície aplicada.

Figura 16 - Aplicação da argamassa em substrato



Fonte: Autora (2020).

4.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

Os ensaios de determinação de resistência de aderência à tração, regulamentados pela NBR 13528 (ABNT, 2019), são importantes para averiguar a qualidade dos revestimentos nas obras.

A realização dos ensaios permite identificar possíveis problemas e propor melhorias nos revestimentos, com o objetivo de aumentar a vida útil das edificações e inibir o surgimento de manifestações patológicas, onde as quais não somente elevam os custos de construção, mas também interferem na qualidade de vida e na segurança dos moradores.

Figura 17 – Dinamômetro de tração



Fonte: Autora (2020).

Figura 18 – Descolamento do material

Fonte: Autora (2020).

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 RESÍDUOS

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica (ABCERAM, 2010), por se tratar de um setor amplo e heterogêneo, a segmentação da cerâmica em subsetores é importante, pois em função de fatores como o uso de matérias-primas, propriedades e áreas de utilização, conferem a este material diversas possibilidades e sua utilização vai além dos materiais empregados na construção civil.

A indústria de revestimentos cerâmicos produz um resíduo gerado no processo de deterioramento do material, que não pode ser reintegrado ao processo, uma vez que o abrasivo usado provoca deformações no produto durante a queima. Ele é classificado como resíduo Classe IIA, segundo a NBR 10004, ABNT (2004), demandando tratamento ou disposição final adequados,

pois pode provocar problemas à saúde da população e ao meio ambiente, se for armazenado e disposto de maneira incorreta.

A cerâmica é o material artificial mais antigo produzido pela humanidade. Desde cerca de 10 a 15 mil anos. Do grego “*kéramos*” (“terra queimada” ou “argila queimada”), é um material de grande resistência, frequentemente encontrado em escavações arqueológicas (Anfacer, 2010). A necessidade de produtos com propriedades superiores levou a sociedade a desenvolver e investir na tecnologia de processamento cerâmico.

Entre diversos tipos de materiais cerâmicos, destacam-se os materiais cerâmicos de revestimento que, como o próprio nome indica, tem por funcionalidade revestir ambientes como pisos, paredes e fachadas, entre esses, destacam-se os pisos cerâmicos, os porcelanatos e os azulejos, sendo os pisos cerâmicos e os porcelanatos materiais que apresentam excelentes características técnicas como alta resistência mecânica, baixa absorção de água, entre outros. Já os azulejos são materiais com características mecânicas inferiores, comparados aos pisos cerâmicos e aos porcelanatos, porém são materiais que apresentam ótima estabilidade dimensional.

5.1.1 Tipo de resíduo de cerâmica e sua utilização

Os materiais cerâmicos são materiais inorgânicos, não metálicos e suas propriedades variam devido à porosidade e às diferentes ligações existentes. Sua composição química também varia de compostos simples (alumina) até misturas mais complexas (supercondutores). Os materiais cerâmicos apresentam excelente resistência à temperatura, e no geral são tipicamente muito duros, porém frágeis devido a sua baixa tenacidade, apresentam ainda, boa estabilidade em muitos meios corrosivos em função de suas fortes ligações químicas, propriedades estas que proporcionam a estes materiais aplicabilidade em muitos setores de engenharia (DA SILVA; ALVES; MARQUES, 2013).

Segundo Bernardin et al. (2006), o resíduo é constituído por uma mistura de material cerâmico e material abrasivo desprendido durante o processo. O material abrasivo utilizado durante o polimento é geralmente composto por

partículas de diamante ou carvão de silício aglomerados por cimentos à base de cloretos magnesianos.

O que evidencia que o resíduo é constituído basicamente por material cerâmico, entretanto ele é descartado diretamente em aterros, apesar do seu potencial como matéria-prima cerâmica alternativa.

5.1.2 Processo resíduo

A maioria dos processos de fabricação de produtos cerâmicos de revestimentos envolve, essencialmente, as mesmas etapas: seleção e dosagem das matérias-primas, moagem, atomização (processos a úmido), conformação, secagem, esmaltação (produtos esmaltados) e pôr fim a queima (ANFACER, 2010).

De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmicas (ANFACER, 2010), a fase de preparação das matérias-primas para os produtos de revestimentos cerâmicos pode ser obtida por dois processos (via úmido e via seco), apresentando diferenças nas composições e na umidade.

O primeiro processo é o por via úmida que consiste na moagem a úmido das matérias-primas, seguido da secagem da barbotina (pasta cerâmica líquida) obtida em um atomizador. O segundo processo é por via seco que consiste na moagem a seco das matérias-primas e na sucessiva regulagem da umidade dos pós moídos através de pulverizadores especiais.

No que diz respeito ao tratamento térmico (queima) que os revestimentos cerâmicos sofrem, ocorrem os processos de biqueima e o de monoqueima, nos quais se incluem 95% da produção dos revestimentos cerâmicos obtidos por prensagem. A diferença substancial entre os dois processos é relativamente à fase de queima (ANFACER, 2010).

A biqueima compreende dois tratamentos térmicos: a queima da placa cerâmica, quando ocorre a sintetização da placa cerâmica, e a queima do vidro, que tem a função de estabilizar os esmaltes e as decorações. No caso, da monoqueima, ao contrário, a esmaltação é efetuada nas placas

cerâmicas secas, seguida de um só tratamento térmico, durante a qual ocorre simultaneamente tanto a consolidação do suporte quanto a estabilização dos esmaltes (ANFACER, 2010).

5.1.3 Reutilização de resíduos de cerâmica

Diferente de outros setores produtivos, o setor cerâmico utiliza-se basicamente de matérias-primas naturais. O seu produto final é, basicamente, o resultado de transformação de compostos argilominerais, como quartzo, feldspatos, calcários, etc. Além disso, as plantas de processamento cerâmico também produzem resíduos, os quais, devido às exigências técnicas dos produtos e à alta demanda do mercado, tornam suas quantidades não desprezíveis. A vantagem das indústrias cerâmicas é que a grande parte dos seus resíduos são sólidos e passíveis de manipulação e transformação (ANFACER, 2010).

Conforme a Associação Nacional de Fabricantes de Cerâmica para Revestimento, Louças Sanitárias e Congêneres (ANFACER, 2016), o Brasil é considerado um dos principais protagonistas no mercado mundial de revestimentos, ocupando a segunda colocação em produção e consumo, atingindo no ano de 2015 a marca de 899 milhões de m² consumidos e 816 milhões de m² produzidos, além de ser o 7^o maior exportador mundial com 77 milhões de m². Estes números expõem a importância do Brasil neste setor.

Por outro lado, com maior produção e consumo, ocorre também um aumento na geração de resíduos e perdas desse material. As leis ambientais, cada vez mais alinhadas aos processos de produção e da destinação dos resíduos gerados, fecham o cerco na tentativa de coibir práticas que prejudiquem o meio ambiente. Com isso, é cada vez mais comum encontrar estudos buscando a reutilização dos resíduos da construção civil como forma de reduzir estes impactos ambientais.

A deposição de resíduos industriais em aterros além dos elevados custos econômicos pode trazer inúmeros problemas ambientais, como contaminação do solo, do lençol freático e agressão a vegetação presente no local.

Nesse sentido a reutilização e a reciclagem são as soluções mais indicadas para o manejo de grande maioria dos resíduos industriais, tal como o resíduo do polimento do porcelanato, reduzindo custos, preservando recursos naturais não renováveis, diminuindo a carga de poluentes lançados no meio ambiente e reduzindo os impactos ambientais e efeitos danosos à saúde humana causados pelo descarte indiscriminado resíduos na natureza (MENEZES, 2002).

5.2 COMPORTAMENTO DO COMPÓSITO CIMENTÍCIO COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS CERÂMICOS

Entre a grande diversidade de materiais existentes na construção civil, os compósitos são comumente usados nesse ramo, sendo constituídos por dois ou mais componentes, que juntos, tem o objetivo de melhorar a qualidade do material, seja ela física, mecânica ou química. Sua composição inclui uma fase matriz polimérica, cerâmica e metálica e uma fase dispersa, sendo essa geralmente de fibras (PEREIRA, 2002).

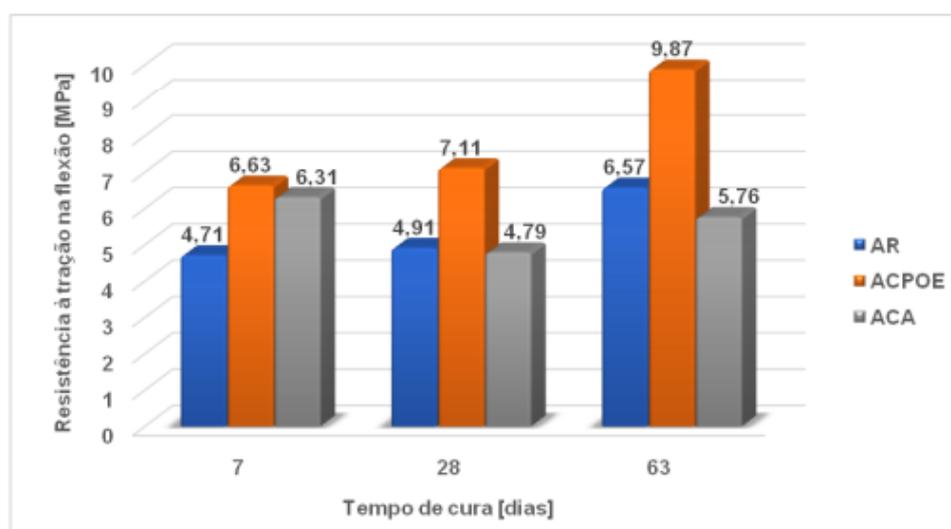
O porcelanato é um produto cerâmico com baixa absorção de água, menor ou igual a 0,5 %, declarado pela norma ISO 13006 e normatizado no Brasil pela NBR 13818 [33]. Sua composição é basicamente formada por uma mistura de argilas, feldspatos, areias feldspáticas e, às vezes, caulins, filitos e aditivos. Atualmente o porcelanato domina o mercado mundial de revestimentos cerâmicos. É extremamente difundido nos grandes países produtores mundiais como Itália, Espanha, China e Brasil.

Paixão (2011), verificou o comportamento das argamassas de assentamento e revestimento com a substituição do agregado miúdo (areia natural quartzosa) por resíduos cerâmicos (porcelanatos e azulejos) provenientes da indústria cerâmica de revestimentos. Os resíduos foram caracterizados pelo autor quanto à distribuição granulométrica, composição química e mineralógica. Com a substituição de 100% do agregado miúdo pelos resíduos num traço em massa de 1:3 (cimento: areia) as argamassas

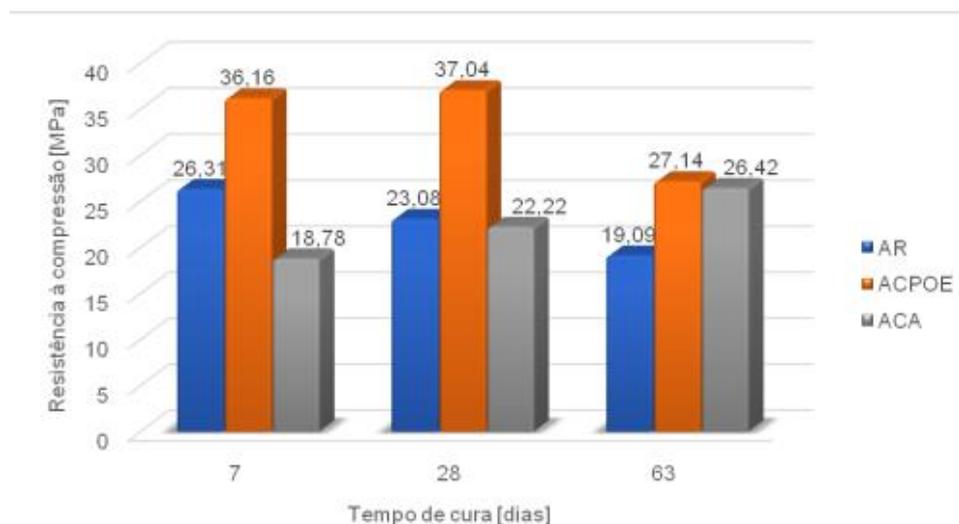
cimentícias passaram pelos ensaios para verificação da resistência à tração na flexão, resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios e massa específica.

O Gráfico 1 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de resistência à tração na flexão: AR representa a argamassa com 100% areia; ACPOE representa a argamassas com 100% chamote de porcelanato e ACA a argamassa com 100% de resíduo de azulejo. O Gráfico 2, por sua vez, apresenta os resultados obtidos pelo autor para resistência à compressão.

Figura 19 - Gráfico de resistência à tração na flexão



Fonte: Adaptado pelo autor de Paixão (2011).

Figura 20 - Gráfico de resistência à compressão

Fonte: Adaptado pelo autor de Paixão (2011).

Paixão (2011), observou que as argamassas com os chamotes cerâmicos necessitaram de uma maior quantidade de água para manter o índice de consistência e conseqüentemente elevaram a relação água-cimento no estado fresco. A argamassa confeccionada com 100% de resíduo de porcelanato consumiu 25% a mais de água que a argamassa referência. Mesmo assim, apresentou um ganho de 51% na resistência à tração na flexão e 41% na resistência à compressão em relação à argamassa referência. Desta forma, o autor concluiu ser viável o reaproveitamento de refugos de revestimentos cerâmicos em substituição da areia para confecção de argamassas cimentícias.

5.2.1 Propriedades mecânicas

Prado, Bedoya e Mercury (2016), demonstraram resultados adequados nas propriedades mecânicas obtidos na inclusão de até 50% em peso de chamote em materiais de revestimento cerâmico, quando se deseja, de acordo com a norma NBR 13817, ABNT (1997), revestimentos classificados como porosos ou semi-porosos.

A composição química do resíduo do porcelanato é basicamente constituída pela massa do próprio porcelanato e resíduos regados pelos discos

abrasivos de polimento. Estudos realizados por Marques et al. (2007), analisaram a composição química do resíduo do polimento do porcelanato, nessa pesquisa foram utilizados resíduos do polimento de porcelanato de uma massa cerâmica comercial para a produção de porcelanatos. Pode-se observar que o resíduo apresenta quantidades significativa de sílica, alumina e óxido de magnésio e baixa quantidade de óxidos fundentes.

A mulita e o quartzo são provavelmente oriundos do porcelanato, enquanto que a presença do SiC e da periclase (MgO) no resíduo está relacionado ao abrasivo utilizado e possivelmente à fase cimentante da matriz do abrasivo.

Assim, observa-se que o padrão de difração está de acordo com os dados de composição química, oriunda do porcelanato e do abrasivo (na forma de SiC), que a sílica advém do porcelanato, enquanto o óxido de magnésio está associado ao cimento presente nos discos magnesianos abrasivos.

Ainda segundo Marques et al. (2007), há uma distribuição do tamanho de partícula. O resíduo apresenta um diâmetro médio de 11,1 μm e D10, D50 e D90 de aproximadamente 1,6 e 30 μm respectivamente. Verifica-se que o resíduo apresenta uma larga distribuição de tamanho de partículas, entretanto com dimensões máximas e semelhantes às dos materiais fundentes e de enchimento comerciais.

5.2.2 Características físicas

Dentre as diversas propriedades presentes na argamassa, podemos citar a sua absorção por capilaridade, que consiste na capacidade de sucção do sistema de poros e capilares que a constituem.

A habilidade individual de absorção de cada material presente na argamassa, a configuração dos poros, e maiores relações entre a água e os materiais secos, interferem diretamente na propriedade de absorção da argamassa, podendo essa ter seu valor elevado por alterações na porosidade,

relacionadas ao maior valor entre as relações água-materiais secos. (CARVALHO e SANTOS, 2011).

Uma composição típica de porcelanato consiste de 30-40% de argila, 10-15% de quartzo e 40-50% de feldspato (porcentagens em peso). Como exemplo, o feldspato é uma matéria-prima de alto custo e a substituição representaria uma redução significativa nos custos de produção do produto. Apesar de ser um material de uso comum, os recursos de minerais feldspáticos de alta qualidade começaram a se tornar escassos (DANA; DAS; DAS, 2004) (TANNER, 2015).

Dana, Das e Das (2004), também averiguaram a incorporação de cinzas obtidas na queima de combustíveis em termoelétricas (fly ashes) como substitutos do quartzo (na proporção de 5, 10 e 15% em peso) nos porcelanatos convencionais.

Os resultados mostram que os exemplares contendo cinzas atingiram densidades mais altas que o normal em toda a faixa de temperatura de queima. O comportamento mecânico, avaliado pela resistência à flexão, obteve valores máximos na amostra contendo 15% em peso de cinzas.

Durante o processo de polimento são removidos em média de 0,5 - 1,5 mm, que chegam a representar 10% da espessura total da placa, da superfície das peças de porcelanato, resultando em uma grande quantidade de resíduos de polimento (PTW, do inglês – Polished Tile Waste). No entanto, trabalhos recentes têm demonstrado que uma remoção entre 1 e 3% seriam suficientes para eliminar os defeitos superficiais do porcelanato (SOARES FILHO et al., 2018).

De maneira geral, esses resíduos são coletados e filtro-prensados para remover a maior parte da água, restando apenas uma lama que é depositada em aterros. Essa deposição não apenas ocupa espaço, mas desperdiça uma fonte de minérios: o PTW, que é rico em quartzo e alumina, materiais semelhantes aos que são usados na produção de cerâmica e carbetos de silício.

5.2.3 Durabilidade

O uso de adições minerais em concretos é um tema bastante estudado por vários pesquisadores que buscam características de redução do consumo de cimento para redução de custos, aumento da durabilidade, aproveitamento de resíduos industriais para redução da poluição ambiental, além do aumento das suas resistências mecânicas, a fim de aumentar a sua utilização em aplicações estruturais.

O número de pesquisas do uso do concreto leve com incorporação de resíduos, nos países latinos, tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, visando não somente a economia do uso de cimento, mas também resolver o grave problema ambiental da destinação dos resíduos gerados a partir das mais diversas atividades humanas.

Ao se considerar estes aspectos, torna-se cada vez mais necessária a busca por materiais alternativos, que possam diminuir custos, preservar recursos naturais, diminuir a poluição ambiental, ao se dispensar resíduos no ambiente e, também, agregar características positivas ao concreto tais como: melhor desempenho e maior durabilidade.

5.3 ESTUDO DE COMPÓSITO DE MATRIZ CIMENTÍCIA E RESÍDUO DE CERÂMICA

O uso de adições minerais em concretos é um tema bastante estudado por vários pesquisadores que buscam características de redução do consumo de cimento para redução de custos, aumento da durabilidade, aproveitamento de resíduos industriais para redução da poluição ambiental, além do aumento das suas resistências mecânicas, a fim de aumentar a sua utilização em aplicações estruturais.

O número de pesquisas do uso do concreto leve com incorporação de resíduos, nos países latinos, tem aumentado consideravelmente nos últimos

anos, visando não somente a economia do uso de cimento, mas também resolver o grave problema ambiental da destinação dos resíduos gerados a partir das mais diversas atividades humanas.

5.3.1 Compósitos de cimento Portland e resíduo de cerâmica

A crescente industrialização, em alguns países, motivada pelo advento de novas tecnologias, assim como o crescimento populacional, gerando grandes centros urbanos, se tornou um problema para muitas nações no mundo, em relação a produção de resíduos, oriundos das mais diversas origens, principalmente após 1980. Os problemas se caracterizavam por escassez de área de deposição de resíduos causadas pela ocupação e valorização de áreas urbanas, altos custos sociais no gerenciamento de resíduos, problemas de saneamento público e contaminação ambiental.

Dessa forma, ações no sentido de enfrentar este problema tiveram início no final da década de 1980 em alguns países da Europa, enquanto que no Brasil, somente no início do século XXI. O Brasil, até 2002, não tinha políticas públicas para os resíduos gerados pelo 27 setor da construção civil.

Em 05 de Julho de 2002 entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a qual estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, visando proporcionar benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

Assim, diante dessa necessidade, baseada em conceitos de sustentabilidade ambiental, a construção civil procura introduzir em sua atividade, cada vez mais, produtos originários da reciclagem de materiais, provenientes de resíduos da própria atividade (RCC) ou de outras.

Essa prática vem causando grande preocupação social e ambiental, tendo em consideração a grande produção brasileira. Assim, cada vez mais são realizados estudos visando à utilização desses resíduos. Estudos como os de Andreola et al. [36] e Silva [37] demonstraram viabilidade do seu uso, devido

a propriedade pozolânica apresentada por esse material (reação com o CH do cimento).

5.4 ARGAMASSAS

5.4.1 Histórico das argamassas

Conforme Carasek (2007), argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais.

As argamassas são materiais muito empregados na construção civil, sendo os seus principais usos no assentamento de alvenarias e nas etapas de revestimento, como emboço, reboco ou revestimento de camada única de paredes e tetos, além de contrapisos para a regularização de pisos e ainda no assentamento e rejuntamento de revestimentos de cerâmica e pedra (CARASEK, 2007).

Os primeiros registros de emprego de argamassa como material de construção são da pré-história, há cerca de 11.000 anos. No sul da Galiléia, próximo de Yiftah'el, em Israel, foi descoberto em 1985, quando de uma escavação para abrir uma rua, o que hoje é considerado o registro mais antigo de emprego de argamassa pela humanidade, um piso polido de 180 m², feito com pedras e uma argamassa de cal e areia, o qual se estima ter sido produzido entre 7.000 a.C. e 9.000 a.C.

Como visto, as argamassas mais antigas eram à base de cal e areia. No entanto, com as alterações das técnicas de construção, novos materiais foram desenvolvidos. As argamassas modernas geralmente possuem em sua composição também o cimento Portland e, muito frequentemente, aditivos orgânicos para melhorar algumas propriedades, como a trabalhabilidade. Esses aditivos são, por exemplo, os incorporadores de ar que modificam a reologia da massa fresca pela introdução de pequenas bolhas de ar, ou mesmo os aditivos retentores de água (à base de ésteres de celulose, os quais regulam a perda de água de amassamento). Já no final do século XIX

surgiram, na Europa e nos Estados Unidos, as argamassas industrializadas, misturas prontas, dosadas em plantas industriais, para as quais, na obra, só é necessária a adição de água (EMO, 2006 conforme autor Op. Cit).

5.4.2 Argamassa de revestimento

Segundo a NBR 7200, ABNT (1998), argamassa é a mistura de aglomerantes, agregados e água, possuindo capacidade de endurecimento e aderência.

A NBR 13281, ABNT (2005), define argamassa como uma mistura homogênea de agregado miúdo, aglomerante e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

Os revestimentos de argamassas têm como função proteger os elementos de vedação da edificação da ação direta dos agentes agressivos, auxiliar das vedações nas suas funções de isolamento, como também regularizar a superfície dos elementos de vedação, que servirá de suporte regular para outro revestimento ou constituir-se no acabamento final, contribuindo para a estética de paredes, vedações e fachadas.

Segundo Carasek (2007), as principais funções de um revestimento são: Proteger a alvenaria e a estrutura contra a ação do intemperismo, no caso de revestimentos externos;

Integrar o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, tais como: isolamento térmico (~30%), isolamento acústica (~50%), estanqueidade à água (~70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste e abalos superficiais;

Regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos, contribuindo para a estética da edificação.

Visando satisfazer às funções citadas anteriormente, algumas propriedades tornam-se essenciais para essas argamassas, a saber: trabalhabilidade, especialmente consistência, plasticidade e adesão inicial; retração; aderência; permeabilidade à água; resistência mecânica,

principalmente a superficial; capacidade de absorver deformações. (CARASEK, 2007).

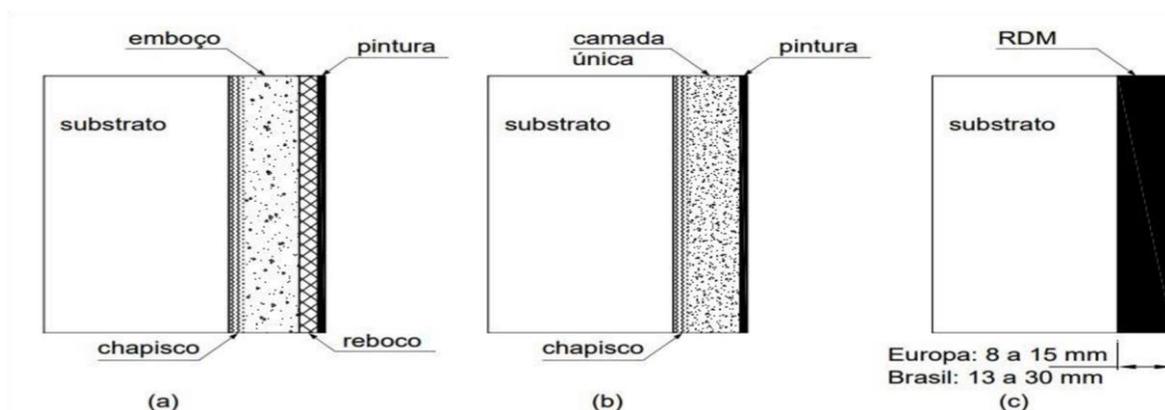
A NBR 13749, ABNT (2013), prescreve que o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescência, devendo ser prevista na especificação de projeto a aceitação ou rejeição, conforme níveis de tolerâncias admitidas.

5.4.3 Estrutura dos revestimentos

A NBR 13528, ABNT (2019), define sistema de revestimento como um conjunto formado por argamassas e acabamento, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.

O revestimento de argamassa é constituído por diversas camadas com características e funções específicas, conforme exemplificado na (figura 19):

Figura 21 - Diferentes alternativas de revestimentos de parede



Fonte: Adaptado, Carasek (2007).

5.4.3.1 Substrato

É a base para aplicação das camadas de revestimento, normalmente os mais empregados são as bases de alvenaria e estrutura de concreto. O substrato, principalmente aqueles que não são aplicados chapiscos, podem ter

grande influência na qualidade final do revestimento em função da diversidade de características e textura: absorventes, impermeáveis, lisos, rugosos, rígidos e deformáveis (SANTOS, 2008).

A NBR 7200, ABNT (1998), especifica que as bases de revestimentos devem atender às exigências de planeza, prumo e nivelamento fixados nas normas de alvenaria e estrutura de concreto. Quando a base for composta por diferentes materiais e for submetida a esforços que gerem deformações diferenciais consideráveis, (tais como, balanços, platibandas e últimos pavimentos), deve-se utilizar tela metálica, plástica ou de outro material semelhante na junção destes materiais, criando uma zona capaz de suportar as movimentações diferenciais a que estará sujeita. Alternativamente, pode ser especificada a execução de uma junta que separe o revestimento aplicado sobre os dois materiais, permitindo que cada parte se movimente independentemente.

Yazigi (1998), recomenda iniciar o preparo da base removendo sujeiras ou incrustações como óleo, desmoldante e eflorescência empregando vassouras de piaçaba, escova de aço ou equipamento de água pressurizada. Devem ser removidos pregos, arames, pedaços de madeira e outros materiais estranhos. É preciso preencher os vazios provenientes de rasgos, quebra parcial de blocos, depressões localizadas e outros defeitos com argamassas de mesmo traço da que será utilizada no revestimento. Em caso de rasgos maiores para embutimento de instalações é necessário colocar telas de aço zincada de fio 1,65 mm e malha de 15 mm x 15 mm ou similar.

5.4.3.2 Chapisco

Camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento (CARASEK, 2007).

Maciel, Barros e Sabbatini (1998), relacionam as seguintes características dos chapiscos:

- Chapisco tradicional – argamassa de cimento, areia e água que adequadamente dosada resulta em uma película rugosa, aderente e resistente;

- Chapisco industrializado – argamassa semelhante à argamassa colante, sendo necessário acrescentar água no momento da mistura. A aplicação é realizada com desempenadeira dentada somente sobre superfície de concreto;
- Chapisco rolado – argamassa bastante plástica obtida através da mistura de cimento, areia, água e adição de resina acrílica. A aplicação é realizada com rolo para textura acrílica sobre superfícies de alvenaria e concreto.

5.4.3.3 Emboço

Segundo Yazigi (1998), o emboço, que consiste na camada de regularização do chapisco, somente poderá ser aplicado após a pega completa do mesmo. A NBR 7200, ABNT (1998), relata que este chapisco deverá apresentar idade mínima de três dias antes da aplicação do emboço, sendo que para climas quentes e secos, com temperaturas acima de 30 °C, este prazo pode ser reduzido para dois dias.

5.4.3.4 Reboco

O reboco trata-se de uma camada fina com melhor acabamento, sendo responsável por cobrir o emboço. A NBR 7200, ABNT (1998), prescreve que para cada aplicação de nova camada de argamassa exige, de acordo com a finalidade e com as condições do clima, a umidificação da camada anterior. A argamassa de revestimento não deve ser aplicada em ambientes com temperatura inferior a 5 °C. Em temperatura superior a 30 °C, devem ser tomados cuidados especiais para a cura do revestimento, mantendo-o úmido pelo menos nas 24 horas iniciais através da aspersão constante de água. Este procedimento deve ser adotado em situações de baixa umidade relativa do ar, ventos fortes e insolação forte e direta sobre os planos revestidos.

A NBR 13749, ABNT (2013), estabelece as seguintes espessuras para revestimento interno e externo de paredes e tetos conforme a (tabela 1):

Tabela 01 - Tabela de espessuras para revestimentos

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Teto interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: Carasek (2007).

5.4.3.5 Camada Única

Carasek (2007), define camada única como revestimento de um único tipo de argamassa aplicado à base, sobre o qual é aplicada uma camada decorativa, como, por exemplo, a pintura. A camada Única também chamada popularmente de “massa única” ou “reboco paulista”, sendo atualmente a alternativa mais empregada no Brasil.

5.4.3.6 Revestimento decorativo (ou monocapa) – RDM

Carasek (2007), trata-se de um revestimento aplicado em uma única camada, que faz, simultaneamente, a função de regularização e decorativa, muito utilizado na Europa. A argamassa RDM é um produto industrializado, ainda não normatizado no Brasil, com composição variável de acordo com o fabricante, contendo geralmente: cimento branco, cal hidratada, agregados de várias naturezas, pigmentos inorgânicos, fungicidas, além de vários aditivos (plastificante, retentor de água, incorporador de ar, etc.).

5.5 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

5.5.1 Propriedades no estado fresco

5.5.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a propriedade que garantirá não só condições de execução, como também o adequado desempenho do revestimento em serviço. Deve-se ajustar a trabalhabilidade da argamassa à sua forma de aplicação na obra. Assim, relativo à aplicação, a consistência e a plasticidade da argamassa deverão ser diferentes se a argamassa for aplicada por meio de colher de pedreiro (aplicação manual), ou se for projetada mecanicamente, em equipamento onde a massa é bombeada através do magote e projetada na pistola com auxílio de ar comprimido. No segundo caso, as argamassas devem ter uma consistência mais fluida, e principalmente, uma alta plasticidade, que permitirá o bombeamento. Além disso, se a argamassa não possui a trabalhabilidade satisfatória e não garantir a sua correta aplicação, haverá prejuízo ao desempenho do revestimento, uma vez que várias propriedades da argamassa no estado endurecido serão afetadas pelas condições de aplicação (estado fresco), como é o caso da aderência (CARASEK, 2007).

Segundo Recena (2012), a trabalhabilidade da argamassa é um conceito subjetivo que deve ser atendido como a maior ou menor facilidade de dispor a argamassa em sua posição final, cumprindo adequadamente sua finalidade, sem comprometer o bom andamento da tarefa em termos de rendimento e custo.

Em termos práticos, entende-se que a trabalhabilidade de uma argamassa deva estar diretamente ligada à tarefa a ser executada, estando suas características ligadas diretamente às funções a serem desempenhadas. Uma mesma argamassa ao ser utilizada em revestimento ou assentamento deverá apresentar trabalhabilidade diferente em cada caso (RECENA, 2012).

A modificação da trabalhabilidade estará sempre ligada diretamente à quantidade de água empregada em sua preparação, desde que haja uma quantidade tal de material fino, preferencialmente aglomerante, suficiente para reter a água adicionada, garantindo a estabilidade de volume e a coesão necessária para promover a aderência instantânea sem a ocorrência de segregação de seus constituintes. O excesso de água em uma argamassa desde que rompida a coesão, tornará a argamassa fluida, mas menos trabalhável pela perda de coesão, incapacitando-a para a função a que se

destina. O conceito de trabalhabilidade pode ser entendido, então, como a correta interação entre dois conceitos: consistência e coesão. Vale dizer que uma argamassa muito pouco consistente, ou seja, bastante fluida, sem coesão não será trabalhável. Da mesma forma, uma argamassa de grande coesão, mas de baixa fluidez, igualmente apresentará comprometimento em sua trabalhabilidade, conforme afirma (RECENA, 2012).

5.5.1.2 Adesão inicial

De acordo com Carasek (2007), outra propriedade essencial, também associada à trabalhabilidade é a adesão inicial, ou seja, a capacidade de união da argamassa no estado fresco ao substrato (parede, por exemplo). Ao ser lançada à parede, a argamassa deve se fixar imediatamente à superfície, sem escorrer ou desprender, permitindo manipulações que visam espalhá-la e acomodá-la corretamente, além de garantir o contato efetivo entre os materiais (o que proporcionará a aderência após o seu endurecimento). Ainda no estado fresco, após a aplicação da argamassa, será importante controlar a retração plástica, propriedade relacionada à fissuração do revestimento.

5.5.1.3 Retenção de água

Conforme definido por Recena (2012), retenção de água é a capacidade de uma argamassa de liberar demoradamente a água empregada na sua preparação para o meio ambiente ou para substratos porosos. Quanto maior a quantidade de água empregada na preparação de uma argamassa, maior igualmente o volume de água a ser evaporado, gerando sempre retração por maior que seja a capacidade de uma mistura em reter água.

De acordo com Carasek (2007), a retenção é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação seja pela absorção de água da base. Assim, essa propriedade torna-se mais importantes quando a argamassa é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou as condições climáticas

estão mais desfavoráveis (alta temperatura, baixa umidade relativa e ventos fortes).

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998), retenção de água é a capacidade que a argamassa apresenta de reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. A retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativa, promovendo a adequada hidratação do cimento e consequente ganho de resistência.

A determinação da retenção de água pode ser avaliada pelo método da norma NBR 13277, ABNT (2005) – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.

5.5.1.4 Massa específica e teor de ar incorporado

De acordo com Carasek (2007), a massa específica varia com o teor de ar (principalmente se for incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente do agregado. Quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será a longo prazo, reduzindo esforço em sua aplicação e resultando em maior produtividade.

Massa específica é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, podendo ser absoluta ou relativa. Na determinação da massa específica absoluta não são considerados os vazios existentes no volume da argamassa, em contrapartida, para determinação da massa relativa e/ou massa unitária, consideram-se os vazios conforme afirmam (MACIEL, BARROS E SABBATINI, 1998).

5.5.2 Propriedades no estado endurecido

5.5.2.1 Aderência

Segundo Carasek (2007), o termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e uma base. A base, ou

substrato, geralmente é representada não só pela alvenaria, a qual pode ser de tijolo ou blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos de concreto celular autoclavado, blocos sílico-calcários, etc., como também pela estrutura de concreto moldado in loco. Assim, não se pode falar em aderência de uma argamassa sem especificar em que material ela está aplicada, pois a aderência é uma propriedade que depende da interação dos dois materiais.

No estado endurecido, a propriedade fundamental é a aderência, sem a qual o revestimento de argamassa não atenderá a nenhuma de suas funções. A aderência é a propriedade que permite ao revestimento de argamassa absorver tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com o substrato. Essa propriedade é uma das poucas que possui critério de desempenho especificado em norma do Brasil, conforme apresentado na tabela a seguir, aborda (CARASEK, 2007), (Figura 20).

Figura 22 - Fatores de aderência à tração para revestimentos

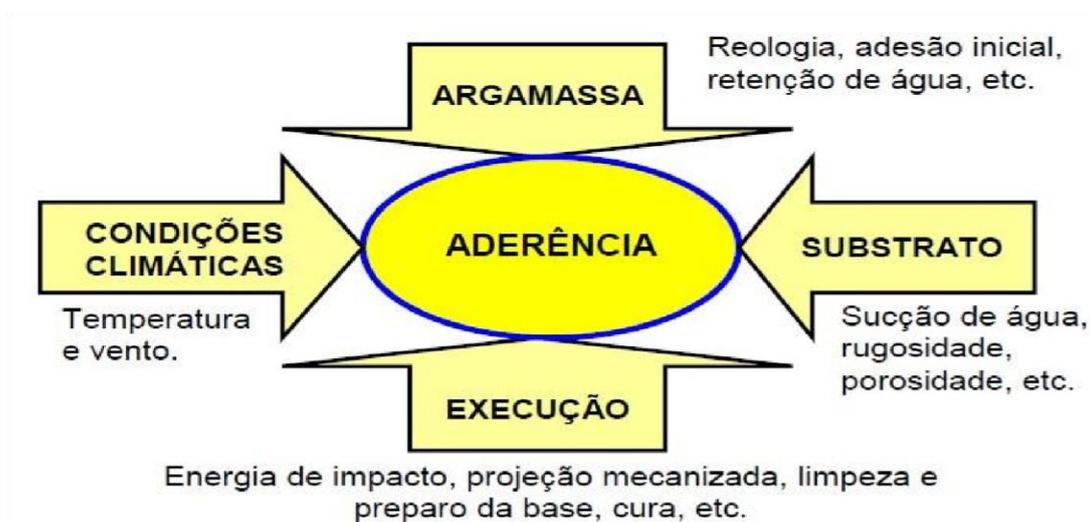
Local		Acabamento	Ra (Mpa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥0,20
		Cerâmica ou laminado	≥0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥0,30
		Cerâmica	≥0,30
Teto			≥0,20

Fonte: Adaptado de Carasek (2007).

Carasek (2007), informa que a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico devido, basicamente, a penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Outra parcela menos significativa que contribui para a aderência das argamassas aos substratos são as ligações secundárias do tipo Van der Waals. Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e pelas cavidades do substrato. No interior dos poros ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e transcorrido algum tempo, esses precipitados

intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa de acordo com a (Figura 21).

Figura 23 -1 Fatores de influência de argamassa sobre bases porosas



Fonte: Adaptado de Carasek (2007).

Maciel, Barros e Sabbatini (1998), afirmam que a aderência é uma propriedade que o revestimento tem em manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base/revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa. A aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e da sua limpeza superficial. A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração.

5.5.2.2 Capacidade de absorção e deformações

Segundo Recena (2012), uma mesma argamassa recobre, em revestimentos, materiais de diferentes coeficientes de dilatação térmica num mesmo parâmetro vertical, assim como concreto armado e alvenaria de tijolos cerâmicos, devendo absorver de forma eficiente deformações diferenciais advindas da resposta dada pelos diferentes materiais às solicitações oriundas das constantes variações térmicas e/ou higrométricas.

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998), é a propriedade que o revestimento apresenta quando exposto a pequenas tensões, devendo suportar as mesmas sem apresentar rupturas ou deformações que comprometam sua estrutura, aderência, estanqueidade e durabilidade.

5.5.2.3 Retração

Carasek (2007), afirma que a retração é resultado de um mecanismo complexo, associado com a variação de volume da pasta aglomerante e apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade.

5.5.2.4 Resistência mecânica

Conforme retratado por Recena (2012), a grande questão com relação à resistência mecânica de uma argamassa é sua quantificação, ou seja, qual o valor que deve ser obtido e como deve ser feita a medição deste valor de referência, qual a idade de ensaio, qual o método a ser empregado e qual o corpo de prova a ser adotado. Evidentemente que a resposta a essa questão está diretamente vinculada com o emprego previsto para a argamassa e com as solicitações previstas em projeto, quando for o caso.

De acordo com Carasek (2007), a resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.

5.5.2.5 Durabilidade

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998), durabilidade é uma propriedade do período de uso do revestimento no estado endurecido e que reflete o desempenho do revestimento frente às ações do meio externo ao longo do tempo. Alguns fatores prejudicam a durabilidade dos revestimentos, tais como: fissuração, espessura excessiva, cultura e proliferação de microrganismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção.

5.6 CONCRETOS

5.6.1 Histórico dos concretos

Racena (2011), define concreto como sendo a massa resultante de misturas com cimentos diferentes, possuindo características variadas, inclusive os que contém pozolana, cinza volante, escória de alto-forno, adições minerais, sílica ativa, agregados de concreto reciclado, aditivos polímeros e fibras.

Araújo (2014), menciona em seus estudos que o concreto é resultado da mistura de agregados naturais ou britados com cimento e água. E quando o objetivo é obter uma mistura para fins específicos podem ser acrescentados aditivos, como exemplos retardadores ou aceleradores de pega, entre outros que podem melhorar as características de trabalhabilidade do concreto. Segundo o autor, a resistência já é fruto da relação água cimento.

Junto ao concreto veio a união da duração da pedra com a alta resistência do aço, obtendo assim um material que consegue atingir formas diferentes em um intervalo de tempo menor. Os materiais compostos por material cimentício são considerados materiais de grande relevância descobertos pelo homem, pois com eles o homem chegou nas grandes obras que hoje são relevantes para a vida humana. Existe no mundo grande variedade de matéria prima que é utilizada para a confecção do cimento o que possibilitou a evolução de estudos com o concreto (NICOLA, 2010).

Nicola (2010), afirma ainda que o material mais consumido pelo homem depois da água é o concreto, e esse grande consumo se dá pela facilidade de encontrar as matérias-primas utilizadas na confecção do concreto, o que torna seu valor acessível, facilitando sua confecção. Mehta e Monteiro (2014), diz

que anualmente são consumidos cerca de dezenove bilhões de toneladas métricas de concreto mundialmente, o concreto em seu estado fresco possui consistência e trabalhabilidade, o que o torna capaz de se adequar a variados formatos, e em seu estado endurecido apresenta grande resistência a intemperes o que confia a ele ser uma mistura muito usada no mundo inteiro.

5.6.2 Dosagem do concreto

A dosagem do concreto nada mais é que a determinação do traço que será utilizado na mistura. São utilizados parâmetros que possibilitam a confecção de misturas com mais ou menos argamassa e com agregados de maior ou menor diâmetro o que gera resultados diferentes nos ensaios de abatimento feitos com tronco de cone (RACENA, 2011). Essa dosagem é realizada de acordo com três parâmetros abaixo:

- a) **Trabalhabilidade:** Está diretamente ligada a facilidade com que o concreto pode ser manipulado, perdendo o mínimo possível de sua homogeneidade. Os fatores que estão ligados diretamente as propriedades da trabalhabilidade são: o traço do concreto, a consistência do mesmo, uso de aditivos, o transporte, o adensamento, entre outros. Não é fácil definir a trabalhabilidade de uma massa, ela pode apresentar consistência boa quando se trabalha em um piso por exemplo e ser péssima para concretar pilares. Cada tipo de concreto requer uma certa trabalhabilidade, que deve se adequar a cada situação determinada em projeto (TUTIKIAN e HELENE, 2011).
- b) **Resistência Mecânica:** a resistência mecânica de concretos é um dos parâmetros mais frequentemente utilizado para a dosagem de concretos, com maior frequência de utilização a resistência à compressão, embora a resistência à tração tem grande relevância também inclusive quando se trata de pavimentação. Os métodos utilizados no Brasil para obtenção e verificação da resistência à compressão de concretos são expostos por meio de métodos e ensaios devidamente descritos pelas ABNT NBR 5738:2015 e ABNT NBR 5739:2018, no procedimento de concreto ABNT NBR

12655:2022, no procedimento de projeto ABNT NBR 6118:2014 e no procedimento de execução ABNT NBR 14931:2004. (BETEZANI,2013).

- c) Durabilidade: o concreto é vulnerável a agentes externos que podem alterar sua composição física, trazendo sua deterioração ao longo de seu tempo de vida útil, devido a isso a durabilidade do concreto ganhou espaço nos estudos acadêmicos e alguns conceitos básicos foram mudados, visando uma durabilidade maior dos concretos. Houve uma grande evolução nos estudos em relação a durabilidade do concreto possibilitando atualmente uma dosagem que confere a ele uma maior resistência a agentes externos que são causa de sua deterioração. É importante lembrar também que a durabilidade de um concreto muitas vezes dependerá de manutenções periódicas nas estruturas, o ambiente em que ele está implicará diretamente também em sua duração, e em alguns casos será necessário um sistema de proteção periódico (RACENA, 2011).

5.6.3 Resistência à Compressão do Concreto

Quando a durabilidade do concreto é um fator que se sobrepõe a outros parâmetros a resistência à compressão se torna a característica mais importante nesse caso, embora o concreto possa ser dosado tendo por foco a resistência à tração por flexão ou compressão diametral, pela relação água cimento ou mesmo ainda pela quantidade de cimento. A resistência à compressão do concreto é facilmente descoberta através de ensaios laboratoriais feitos com corpos de provas cilíndricos, que são normatizados pela ABNT NBR 5738:2015 e ABNT NBR 5739:2018.

5.6.4 Resistência à Tração:

Para Pinheiro e colaboradores (2007), os conceitos referentes a resistência a tração direta são semelhantes aos conceitos expostos para determinação da resistência do concreto à compressão simples, por isso temos a resistência média do concreto à tração e a resistência característica do concreto à tração. A diferença do estudo da tração segundo o autor está nos tipos de ensaios, existem três tipos de ensaios normatizados atualmente, são eles: tração na flexão, compressão diametral e tração direta. Farias e

colaboradores (2018), afirmam que muitas vezes a característica do concreto em resistir a compressão seja dita como mais relevante do que a resistência à tração que é uma das mais importantes propriedades do concreto. Com o conhecimento adequado sobre a tração consegue-se definir por estimativa a máxima carga suportada até chegar à fissuração do corpo de prova. A resistência à tração também está relacionada diretamente com a aderência entre armadura e concreto. Luong (1990), relata em seu livro que a tração é um parâmetro muito importante quando falamos de pavimentação, principalmente quando se trata de estudar as características de materiais como pavimento asfáltico e concreto-cimento.

a) Tração na flexão: a tração na flexão é medida através de ensaios realizados com corpos de provas prismáticos com dimensões determinadas pela ABNT NBR 5738:2015 e os métodos de ensaio são determinados pela ABNT NBR 12142:2010 pelo princípio da viga simplesmente apoiada. (PINHEIRO e colaboradores, 2007).

b) Compressão diametral: os ensaios de compressão diametral foram desenvolvidos pelo Professor Lobo Carneiro (CARNEIRO, 1943). É um ensaio realizado com corpos de provas cilíndricos, ou seja, o mesmo formato de corpo de prova usado no ensaio para obtenção da resistência à compressão simples; o que facilita a execução do ensaio. Esse ensaio é normatizado pela ABNT NBR 7222:2011(SANTOS, 2017).

c) Tração Direta: é o ensaio de tração que mais se aproxima de valores reais de tração do concreto. O ensaio é baseado na aplicação de tração axial que é aplicada sobre o corpo de prova até que chegar à ruptura.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E RESISTENCIA À COMPRESSÃO

Foram confeccionados 63 corpos de prova cilíndricos, sendo 30 corpos de prova para o estudo da argamassa e os outros 33 para o estudo do concreto.

A partir da preparação dos corpos de prova cilíndricos, foram determinadas a resistência à compressão conforme ensaio prescrito na NBR 5739 (ABNT,2018). E a partir da preparação de 02 (dois) substratos de

concreto, onde foram aplicados reboco com adição de cerâmica e de porcelanato, foram determinadas a resistência à tração conforme ensaio prescrito na NBR 13528 (ABNT,2019).

Os resultados apresentados a seguir, mostram as médias correspondentes a cada material avaliado.

Tabela 02 - Resultados da resistência à compressão argamassa com cerâmica

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CP'S (10X20) - CERÂMICA			
IDENTIFICAÇÃO	VALOR PRENSA H.	NBR 5739 - FÓRMULA	MPA
CP 1	4,00	50,93	4,99
CP 2	6,07	77,29	7,58
CP 3	4,47	56,91	5,58
CP 4	5,71	72,70	7,13
CP 5	3,14	39,98	3,92
CP 6	3,96	50,42	4,94
CP 7	6,58	83,78	8,22
CP 8	4,30	54,75	5,37
CP 9	4,07	51,82	5,08
CP 10	5,53	70,41	6,90
CP 11	4,90	62,39	6,12
CP 12	8,03	102,24	10,03
CP 13	5,21	66,34	6,51
CP 14	8,44	107,46	10,54
CP 15	8,16	103,90	10,19
		MÉDIA	6,87
		DESVIO PADRÃO	2,08

Fonte: Autora (2020).

Tabela 03 - Resultados da resistência à compressão argamassa com porcelanato

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CP'S (15X30) - PORCELANATO			
IDENTIFICAÇÃO	VALOR PRENSA H.	NBR 5739 - FÓRMULA	MPA
CP 1	11,80	66,78	6,55
CP 2	12,29	69,55	6,82
CP 3	10,28	58,17	5,70
CP 4	13,48	76,28	7,48
CP 5	9,26	52,40	5,14
CP 6	17,12	96,88	9,50
CP 7	9,86	55,80	5,47
CP 8	10,11	57,21	5,61
CP 9	12,15	68,76	6,74
CP 10	15,13	85,62	8,40
CP 11	12,71	71,93	7,05
CP 12	15,00	84,88	8,32
CP 13	13,99	79,17	7,76
CP 14	16,00	90,54	8,88
CP 15	20,16	114,09	11,19
		MÉDIA	7,38
		DESVIO PADRÃO	1,68

Fonte: Autora (2020).

Tabela 04 - Resultados da resistência à compressão concreto com cerâmica

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CP'S (10X20) - CERÂMICA			
IDENTIFICAÇÃO	VALOR PRENSA H.	NBR 5739 - FÓRMULA	MPA
CP 1	38,10	215,61	21,14
CP 2	32,75	185,33	18,17
CP 3	39,43	223,13	21,88
CP 4	42,36	239,71	23,51
CP 5	41,29	233,66	22,91
CP 6	40,58	229,64	22,52
CP 7	39,16	221,61	21,73
CP 8	40,13	227,10	22,27
CP 9	37,35	211,36	20,73
CP 10	38,38	217,19	21,30
CP 11	37,00	209,38	20,53
CP 12	40,16	227,27	22,29
CP 13	45,19	255,73	25,08
CP 14	42,12	238,36	23,37
CP 15	34,41	194,73	19,10
CP 16	39,34	222,62	21,83
		MÉDIA	21,77
		DESVIO PADRÃO	1,68

Fonte: Autora (2020).

Tabela 05 - Resultados da resistência à compressão concreto com porcelanato

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CP'S (15X30)			
IDENTIFICAÇÃO	VALOR PRENSA H.	NBR 5739 - FÓRMULA	MPA
CP 1	16,25	206,90	20,29
CP 2	16,32	207,79	20,38
CP 3	21,75	276,93	27,16
CP 4	18,85	240,01	23,54
CP 5	16,85	214,54	21,04
CP 6	14,85	189,08	18,54
CP 7	16,89	215,05	21,09
CP 8	16,11	205,12	20,12
CP 9	18,88	240,39	23,57
CP 10	16,30	207,54	20,35
CP 11	18,65	237,46	23,29
CP 12	16,23	206,65	20,27
CP 13	16,99	216,32	21,21
CP 14	17,04	216,96	21,28
CP 15	16,58	211,10	20,70
CP 16	16,65	211,99	20,79
CP 17	17,48	222,56	21,83
		MÉDIA	21,50
		DESVIO PADRÃO	1,96

Fonte: Autora (2020).

Tabela 06 - Resultados de resistência de aderência à tração argamassa com cerâmica

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA A ADERÊNCIA A TRAÇÃO - PLACAS (01/09/21) - CERÂMICA					
IDENTIFICAÇÃO	DIÂMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VALOR ADERÍMETRO	VALOR em Kf/cm ²	VALOR em MPA
PONTO - 1	5	19,63	182	9,27	0,91
PONTO - 2	5	19,63	311	15,84	1,55
PONTO - 3	5	19,63	349	17,78	1,74
				MÉDIA	14,30
					1,40
COEFICIENTE PARA MPA = 0,0980665 X (F/A)					
RESULTADO: ATENDE A NORMA: 13749, QUE ESTABELECE: AMB. EXTERNO = 0,30 MPA; AMB. INTERNO = 0,20 MPA					

Fonte: Autora (2020).

Tabela 07 - Resultados de resistência de aderência à tração argamassa com porcelanato

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA A ADERÊNCIA A TRAÇÃO - PLACAS (01/09/21) - PORCELANATO					
IDENTIFICAÇÃO	DIÂMETRO (cm)	ÁREA (cm ²)	VALOR ADERÍMETRO	VALOR em Kf/cm ²	VALOR em MPA
PONTO - 1	5	19,63	183	9,32	0,91
PONTO - 2	5	19,63	91	4,64	0,45
PONTO - 3	5	19,63	172	8,76	0,86
MÉDIA				7,57	0,74
COEFICIENTE PARA MPA = 0,0980665 X (F/A)					
RESULTADO: ATENDE A NORMA: 13749, QUE ESTABELECE: AMB. EXTERNO = 0,30 MPA; AMB. INTERNO = 0,20 MPA					

Fonte: Autora (2020).

6.2 RESULTADO PARA O ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA:

A determinação da absorção de água do estudo, foi realizada através das recomendações da NBR 9778, ABNT (2009), os resultados atenderam aos limites normatizados, sendo bem inferiores aos estabelecidos pela norma que estabelece até 10% de absorção. Como os resultados foram todos abaixo de 2%, significando uma baixa porosidade na argamassa e no concreto, esse fator de porosidade baixo representa um ponto positivo para a durabilidade desses materiais, seja a argamassa ou o concreto.

Os resultados obtidos para o teste de absorção, são fornecidos nas tabelas abaixo:

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de absorção de água argamassa com cerâmica

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA - CERÂMICA			
IDENTIFICAÇÃO	PESO SECO(KG)	PESO SATURADO(KG)	% DE ABSORÇÃO
CP 1	3,032	3,097	2,14
CP 2	2,934	2,985	1,74
CP 3	3,007	3,061	1,80
CP 4	3,127	3,184	1,82
CP 5	2,977	3,031	1,81
CP 6	3,070	3,127	1,86
CP 7	3,047	3,099	1,71
CP 8	3,051	3,110	1,93
CP 9	2,996	3,060	2,14
CP 10	3,038	3,088	1,65
CP 11	3,043	3,093	1,64
CP 12	3,131	3,184	1,69
CP 13	2,972	3,017	1,51
CP 14	3,121	3,171	1,60
CP 15	3,086	3,134	1,56
		MÉDIA	1,77
		DESVIO PADRÃO	0,19

Fonte: Autora (2020).

Tabela 9 - Resultados dos ensaios de absorção de água argamassa com porcelanato

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA - PORCELANATO			
IDENTIFICAÇÃO	PESO SECO(KG)	PESO SATURADO(KG)	% DE ABSORÇÃO
CP 1	9,871	10,028	1,59
CP 2	9,746	9,899	1,57
CP 3	9,844	10,011	1,70
CP 4	9,752	9,916	1,68
CP 5	9,717	9,882	1,70
CP 6	9,899	10,039	1,41
CP 7	9,758	9,909	1,55
CP 8	9,810	9,956	1,49
CP 9	9,813	9,958	1,48
CP 10	9,804	9,943	1,42
CP 11	9,849	9,985	1,38
CP12	9,760	9,898	1,41
CP13	9,877	10,009	1,34
CP14	9,914	10,052	1,39
CP15	9,779	9,907	1,31
		MÉDIA	1,49
		DESVIO PADRÃO	0,13

Fonte: Autora (2020).

Tabela 10 - Resultados dos ensaios de absorção de água concreto com cerâmica

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA - CERÂMICA			
IDENTIFICAÇÃO	PESO SECO(KG)	PESO SATURADO(KG)	% DE ABSORÇÃO
CP 1	12,402	12,480	0,63
CP 2	12,341	12,416	0,61
CP 3	12,280	12,345	0,53
CP 4	12,285	12,359	0,60
CP 5	12,343	12,405	0,50
CP 6	12,365	12,425	0,49
CP 7	12,504	12,571	0,54
CP 8	12,535	12,606	0,57
CP 9	12,499	12,568	0,55
CP 10	12,499	12,572	0,58
CP 11	12,455	12,523	0,55
CP 12	12,400	12,463	0,51
CP 13	12,441	12,515	0,59
CP 14	12,348	12,413	0,53
CP 15	12,409	12,477	0,55
CP 16	12,369	12,438	0,56
		MÉDIA	0,55
		DESVIO PADRÃO	0,04

Fonte: Autora (2020).

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de absorção de água concreto com porcelanato

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA - PORCELANATO			
IDENTIFICAÇÃO	PESO SECO(KG)	PESO SATURADO(KG)	% DE ABSORÇÃO
CP 1	3,676	3,714	1,03
CP 2	3,646	3,680	0,93
CP 3	3,711	3,746	0,94
CP 4	3,675	3,707	0,87
CP 5	3,806	3,843	0,97
CP 6	3,643	3,678	0,96
CP 7	3,820	3,856	0,94
CP 8	3,737	3,773	0,96
CP 9	3,616	3,665	1,36
CP 10	3,633	3,686	1,46
CP 11	3,599	3,645	1,28
CP 12	3,567	3,616	1,37
CP 13	3,577	3,625	1,34
CP 14	3,571	3,621	1,40
CP 15	3,488	3,536	1,38
CP 16	3,578	3,631	1,48
CP 17	3,538	3,590	1,47
		MÉDIA	1,19
		DESVIO PADRÃO	0,23

Fonte: Autora (2020).

7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ARGAMASSA E DO CONCRETO COM A UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE CERÂMICA E PORCELANATO

Um dos objetivos de estudar a viabilidade deste material em substituição ao agregado miúdo é justamente reduzir seu custo por m³ de produto, pois como estamos fazendo a substituição por um material sem custo inicial (resíduos), teremos a redução do seu preço. Atualmente, usando como referência de preços e custos a tabela fornecida pelo SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) no mês de Janeiro de 2022, o custo do metro cúbico da areia fina utilizada na argamassa é de R\$ 90,00 (noventa reais), com a utilização de 30% dos resíduos (cerâmico e porcelanato), teremos uma economia de R\$ 27,00 (vinte e sete reais) a cada metro cúbico de areia utilizado. No concreto, o custo do metro cúbico da areia grossa utilizada é de R\$ 91,17 (noventa e um reais e dezessete centavos), com a utilização de 10% dos resíduos (cerâmico e porcelanato), teremos uma economia de R\$ 9,12 (nove reais e doze centavos) por cada metro cúbico utilizado.

8 CONCLUSÕES

As argamassas confeccionadas com resíduos na porcentagem especificada podem ser utilizadas para revestimentos de rebocos em edificações com custo inferior as argamassas tradicionais e características superiores de resistência à compressão, aderência e absorção de água especificadas nas normas vigentes.

O concreto confeccionado com resíduos na porcentagem especificada pode ser utilizado em edificações com custo inferior ao concreto tradicional e características superiores de resistência à compressão e absorção de água especificadas nas normas vigentes em ambiente rurais e para edificações sem fins estruturais.

REFERÊNCIAS

- ALVES, H. J.; MINUSSI, F. B.; MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. Porosidade Susceptível ao Manchamento em Porcelanato Polido. **Cerâmica Industrial**, v. 14, p. 21-26, 2009.
- AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. **Materiais de Construção**. 5. ed. São Paulo: Pini, 2012.
- ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; LANCELOTTI, I.; LEONELLI, C.; MANFREDINI, T. Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing: State of art and glass case studies. **Ceramics International**, v. 42, p. 13333-13338, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. BT 106: **Guia básico de utilização do cimento Portland**. São Paulo: ABCP, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738:2015** - Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12655:2022** - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento - Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14931:2004** - Execução de estruturas de concreto – Procedimento - Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12142:2010** - Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos - Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7222:2011** - Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos - Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004:2004** - Resíduos sólidos – Classificação - Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- 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, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13277**: revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

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, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14081-4**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5733**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5739**: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projetos de estruturas de concreto - procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7200**: execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com telas de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

Agregados - BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 1 v.

BITTENCOURT, E. L.; BENINCÁ, E. Aspectos superficiais do Produto Grês Polido. **Cerâmica Industrial**, v. 7, n. 4, p. 40-46, 2002.

CARASEK, Helena. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v.

DA SILVA, A. L.; FELTRIN, J.; BÓ, M. D.; BERNARDIN, A. M.; HOTZA, D. Effect of reduction of thickness on microstructure and properties of porcelain stoneware tiles. **Ceramics International**, v. 40, p. 14693-14699, 2014.

DANA, K.; DAS, S. K. Partial substitution of feldspar by B.F. slag in triaxial porcelain: Phase and microstructural evolution. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 24, p. 3833-3839, 2004.

DANA, K.; DAS, S.; DAS, S. K. Effect of substitution of fly ash for quartz in triaxial kaolin-quartz-feldspar system. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 24, p. 3169-3175, 2004.

DONDI, M. Feldspathic fluxes for ceramics: Sources, production trends and technological value. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 133, p. 191-205, 2018.

Fabricação de Papéis e Cartões. São Paulo: Klabin fabricante de papel e celulose S/A, p. 65, 1994.

PAIXÃO, Alexandre B. P. **Utilização de Refugos de Revestimentos Cerâmicos (Porcelanatos e Azulejo) em substituição à areia em argamassas cimentícias**. UFGRS. Porto Alegre, 2011. Disponível em: Acesso em: 05 de abril 2021.

RECENA, Fernando A. P. **Conhecendo a argamassa**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.