



Universidade Federal do Pampa
CAMPUS TECNOLÓGICO DE ALEGRETE

ENGENHARIA CIVIL

**Análise de Desempenho em Argamassa de Assentamento
e de Revestimento com Incorporação de Cinza de Casca de
Arroz em Alvenaria de Bloco Estrutural e de Vedação**

SILÊNIA PRISCILA DA SILVA LEMES

Trabalho de Conclusão de Curso

Alegrete

2013

SILÊNIA PRISCILA DA SILVA LEMES

**Análise de Desempenho em Argamassa de Assentamento
e de Revestimento com Incorporação de Cinza de Casca de
Arroz em Alvenaria de Bloco Estrutural e de Vedação**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das atividades para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil na Universidade Federal do
Pampa.

Orientadora: Prof^a Dra. Elizabete Yukiko
Nakanishi Bavastri

Co-orientador: Prof^o Dr. Gihad Mohamad

Alegrete

2013

SILÊNIA PRISCILA DA SILVA LEMES

**Análise de Desempenho em Argamassa de Assentamento
e de Revestimento com Incorporação de Cinza de Casca de
Arroz em Alvenaria de Bloco Estrutural e de Vedação**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte das atividades
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil na Universidade Federal
do Pampa.

Trabalho apresentado e aprovado em: 26 de Março de 2013

Banca examinadora:

| | |
|---|--|
| <hr/> <p>Profa. Dr. Elizabete Y. Nakanishi Bavastri, Orientadora - Unipampa</p> | <hr/> <p>Prof.Dr. Fladimir Fernandes dos Santos Unipampa</p> |
| <hr/> <p>Engº Marcelo de Oliveira Unipampa</p> | <hr/> <p>Engº Jarbas Bressa Dalcin</p> |

*Dedico esse trabalho aos meus pais Ildo
Bitencourt Lemes e Sônia Elizabete S. Lemes.*

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente por sempre me dar força, coragem e sabedoria para enfrentar todos os obstáculos.

Aos meus pais, Ildo e Sônia, por serem meu chão e exemplos de vida, que com dignidade e caráter foram à base pra que eu me tornasse o que sou. Aos meus irmãos Rodrigo e Rafael pelo amor, amizade, carinho por estarem comigo nos momentos fáceis e difíceis, e por se alegrar com minhas vitórias.

Ao meu namorado, Bruno, pelo amor, apoio, dedicação, companheirismo. Obrigada por ficar ao meu lado noites adentro enquanto eu estudava e fazia meus trabalhos, e muitas vezes por me ajudar a realiza-los.

À minha Orientadora, pela orientação, amizade, incentivo e paciência demonstrada nessa trajetória. A senhora, professora, o meu muito obrigado.

Agradeço ao Engenheiro Civil Marcelo Dias pela ajuda em todos os ensaios realizados no Laboratório de Engenharia Civil da UNIPAMPA e aos ensaios realizados no Laboratório da UFSM.

Agradeço a equipe do Laboratório de Engenharia Civil da UFSM, em especial ao técnico Vilson Machado Tombezi.

Agradeço aos meus amigos e colegas, Stefania Darold, Gabriela Sá Brito e Débora Righi, pela ajuda nas atividades deste trabalho e pela paciência e incentivo quando, muitas vezes não saía como planejado.

A todos os demais, amigos e familiares que de alguma forma colaboraram para minha formação.

RESUMO

O crescimento da população mundial, associado ao avanço tecnológico, gera como consequência uma enorme contaminação no meio ambiente, tanto em relação à emissão de gases tóxicos, quanto na produção de enormes quantidades de resíduos, muitas vezes, sem um local adequado para a destinação. Estudos e pesquisas sobre os resíduos vegetais estão sendo satisfatórios quando empregados como materiais alternativos na composição de concreto e argamassa como, por exemplo, o resíduo da cinza da casca de arroz (CCA), que pode ser empregada na construção civil, principalmente as CCA que possuem elevado teor de sílica, podendo ser utilizada como pozolana. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade técnica da utilização da cinza da casca de arroz, como substituição parcial do cimento, em argamassas de assentamento e de revestimento para paredes de bloco cerâmico de vedação e estrutural. Para o desenvolvimento da pesquisa, inicialmente foi determinado o índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado, posteriormente foi confeccionado argamassas de referência e com proporções de CCA para o traço de assentamento 1:3 e o traço de revestimento 1:2:8, com substituições parciais do cimento de 10%, 15%, 20% e 30% por CCA, realizaram-se ensaios no estado endurecido da argamassa a resistência à tração na flexão, de compressão, resistência a aderência e medida do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Os ensaios tecnológicos aplicados nas argamassas 1:3 e 1:2:8, assentamento e revestimento, respectivamente, apresentaram resultados satisfatórios quanto aos desempenhos mecânicos, concluindo-se que a utilização da CCA na confecção de argamassas é viável tecnicamente.

Palavras-chave: *Cinza da casca de arroz, argamassa assentamento e revestimento, bloco cerâmico de vedação e estrutural.*

ABSTRACT

The growing of the world population, associated with the technological progress, generates as consequence a huge environment contamination both for the emission of the toxic gases and for the production of big wastes, many times with no right place for the destination. Studies and searches about the vegetables wastes are being satisfactorily when used as alternative materials in the cement composition and mortar as example, the residue rice husk ash (CCA), that can be used in civil construction, specially as CCA that have a high silica teor, that could be used as pozolana. At this point, this work objective is to verify the technical viability utilization of the residue rice husk ash, as a partial substitution of the cement in seating mortar and the walls revetment with ceramic blocks and structure hindrance. For the search development, in the beginning was determined the consistense level, mass density and the incorporated air tenor, later was made the mortar reference and with CCA proportions for the trace seating 1:3 and the revestiment trace 1:2:8, with partial substitutions cement 10%, 15%, 20% e 30% of CCA, assays were performed in the hardened mortar tensile strength in bending, in compression, adherence and resustence measurement of dynamic by sonic wavw propagation. Testing technology applied in mortar 1:3 and 1:2:8, laying and covering, respectively, show satisfactory results of the machanical performance, concluding that the use of CCA in making mortar is technically feasible.

Keywords: rice husk ash, mortar and laying flooring, ceramic block seal and structural.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1- Programa Experimental | 36 |
| Figura 2 – Blocos de alvenaria | 37 |
| Figura 3 – Mistura dos insumos | 43 |
| Figura 4 – Medida da consistência | 45 |
| Figura 5 – Equipamento mecânico | 46 |
| Figura 6 – Moldagem dos corpos de prova Prismáticos | 47 |
| Figura 7 – Corpos de prova | 47 |
| Figura 8 – Ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico..... | 48 |
| Figura 9 – Ensaio de Resistência das argamassas | 49 |
| Figura 10 – Argamassa de assentamento total do bloco..... | 50 |
| Figura 11 – Prismas de dois blocos recém moldados | 51 |
| Figura 12 – Capeamento dos prismas de dois blocos..... | 51 |
| Figura 13 – Rupturas dos prismas de dois blocos | 52 |
| Figura 14 – Revestimento do bloco | 53 |
| Figura 15 – Cachimbo de vidro | 54 |
| Figura 16 – Execução do ensaio..... | 54 |
| Figura 17 – Aparelho de arranchamento | 55 |
| Figura 18 – Corpos de prova para ensaio | 55 |
| Figura 19 – Rupturas dos prismas..... | 68 |
| Figura 20 – Rupturas dos prismas..... | 69 |

| | |
|-----------------------------|----|
| Figura 21 – Rupturas..... | 82 |
| Figura 22 – Rupturas A..... | 83 |
| Figura 23 – Ruptura D..... | 83 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Propriedades do bloco cerâmico estrutural..... | 37 |
| Tabela 2 – Composição do Cimento CP V-ARI..... | 38 |
| Tabela 3 – Análise Física da Cal Hidratada CH II..... | 39 |
| Tabela 4 – Composição granulométrica da areia..... | 40 |
| Tabela 5 – Índice de atividade pozolânica da CCA..... | 41 |
| Tabela 6 – Massa Específica da CCA..... | 41 |
| Tabela 7 – Traço da argamassa de Assentamento..... | 43 |
| Tabela 8 – Traço da argamassa de Revestimento..... | 44 |
| Tabela 9 – Argamassa de assentamento: relação a/c e índice de consistência..... | 57 |
| Tabela 10 – Argamassa de revestimento: relação a/c e índice de consistência..... | 57 |
| Tabela 11 – Densidade de massa da Argamassa de Assentamento..... | 58 |
| Tabela 12 – Densidade de massa da Argamassa de Revestimento..... | 58 |
| Tabela 13 – Teor de ar incorporado da argamassa de assentamento..... | 59 |
| Tabela 14 – Teor de ar incorporado da argamassa de revestimento..... | 59 |
| Tabela 15 – Módulo de elasticidade dinâmico para argamassas de assentamento.. | 65 |
| Tabela 16 – Módulo de elasticidade dinâmico para argamassas de revestimento.... | 66 |
| Tabela 17 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa de Referência..... | 70 |
| Tabela 18 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de Referência..... | 70 |
| Tabela 19 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa 10% CCA..... | 72 |
| Tabela 20 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de 10% CCA..... | 72 |
| Tabela 21 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa de 15% CCA..... | 73 |

| | |
|---|----|
| Tabela 22 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de 15% CCA | 74 |
| Tabela 23 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa de 20% CCA..... | 75 |
| Tabela 24 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de 20% CCA | 75 |
| Tabela 25 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa de 30% CCA..... | 76 |
| Tabela 26 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de 30% CCA | 77 |
| Tabela 27– Formas de Rupturas..... | 80 |
| Tabela 28 – Ensaio de aderência – Substrato de bloco cerâmico estrutural..... | 80 |
| Tabela 29 – Ensaio de aderência – Substrato de bloco cerâmico vedação | 81 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 - Densidade de massa das argamassas de assentamento e revestimento | 59 |
| Gráfico 2 – Teor de ar incorporado das argamassas de assentamento e revestimento | 60 |
| Gráfico 3- Resistência à tração na flexão das argamassas de assentamento..... | 61 |
| Gráfico 4 – Resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento..... | 62 |
| Gráfico 5 - Resistência à compressão das argamassas de assentamento | 63 |
| Gráfico 6 - Resistência à compressão das argamassas de revestimento | 64 |
| Gráfico 7 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas | 66 |
| Gráfico 8 – Resistência à compressão dos prismas de dois blocos | 67 |
| Gráfico 9 – Absorção de água para argamassa de referência..... | 71 |
| Gráfico 10 – Absorção de água para argamassa de 10% CCA..... | 73 |
| Gráfico 11 – Absorção de água para argamassa de 15% CCA..... | 74 |
| Gráfico 12 – Absorção de água para argamassa de 20% CCA..... | 76 |
| Gráfico 13 – Absorção de água para argamassa de 30% CCA..... | 77 |
| Gráfico 14 – Absorção de água para argamassa com substrato de bloco estrutural. | 78 |
| Gráfico 15 – Absorção de água para argamassa com substrato de bloco de vedação | 79 |
| Gráfico 16 – Resistência à aderência das argamassas | 81 |

LISTA DE ABREVIATURAS

AA0 – Argamassa de assentamento referência

AA10 – Argamassa de assentamento com 10% de cinza da casca de arroz

AA15 – Argamassa de assentamento com 15% de cinza da casca de arroz

AA20 – Argamassa de assentamento com 20% de cinza da casca de arroz

AA30 – Argamassa de assentamento com 30% de cinza da casca de arroz

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AR0 – Argamassa de revestimento referência

AR10 – Argamassa de revestimento com 10% de cinza da casca de arroz

AR15 – Argamassa de revestimento com 15% de cinza da casca de arroz

AR20 – Argamassa de revestimento com 20% de cinza da casca de arroz

AR30 – Argamassa de revestimento com 30% de cinza da casca de arroz

ASTM - American Society for Testing and Materials

CA – Casca de arroz

CA(OH)₂ - Hidróxido de cálcio

CCA – Cinza de Casca de Arroz

CH – Cal hidratada

CP V-ARI – Cimento Portland V – Ari, alta resistência inicial

CSH - Silicatos de Cálcio Hidratados

CSTB - Centre Scientifiqueet Techniquedu Bâtiment

CSTC - Centre Scientifiqueet Technique de la Construction

DIN -Deutsches Institutfür Normung e.v.

NBR – Norma Brasileira

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1 | 15 |
| INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS..... | 15 |
| 1.2 OBJETIVOS | 16 |
| 1.2.1 Objetivo Geral..... | 16 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos..... | 17 |
| CAPÍTULO 2 | 18 |
| REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 18 |
| 2.1 BLOCO ESTRUTURAL E DE VEDAÇÃO | 18 |
| 2.2 ADIÇÕES MINERAIS..... | 18 |
| 2.2.1 Cinza da Casca de Arroz..... | 19 |
| 2.3 ARGAMASSA | 21 |
| 2.3.1 Propriedades das argamassas no estado fresco..... | 22 |
| 2.3.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido..... | 27 |
| 2.4 TIPOS DE ARGAMASSAS..... | 32 |
| 2.4.1 Argamassa para Assentamento | 32 |
| 2.4.2 Argamassa para Revestimento | 33 |
| CAPÍTULO 3 | 35 |
| MATERIAIS E MÉTODOS | 35 |
| 3.1 MATERIAIS | 37 |
| 3.1.1 Bloco de Alvenaria Estrutural e de Vedação..... | 37 |
| 3.1.2 Cimento Portland..... | 38 |
| 3.1.3 Cal Hidratada..... | 38 |
| 3.1.4 Água de amassamento..... | 39 |
| 3.1.5 Areia..... | 39 |
| 3.1.6 Cinza da casca de arroz..... | 40 |
| 3.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS | 41 |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO..... | 44 |
| 3.2.1 Índice de consistência..... | 44 |
| 3.2.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado | 45 |
| 3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO..... | 46 |
| 3.3.1 Moldagem e cura dos corpos de prova | 46 |
| 3.3.2 Determinação do módulo de elasticidade dinâmico..... | 48 |

| | | |
|-----------------------------------|--|-----------|
| 3.3.3 | <i>Resistência à tração na flexão e à compressão</i> | 49 |
| 3.4 | EXECUÇÃO DOS PRISMAS DE DOIS BLOCOS | 50 |
| 3.4.1 | <i>Resistência à compressão dos prismas</i> | 52 |
| 3.5 | EXECUÇÃO DE ARGAMASSA DE REVESTIMENTOS NA INTERFACE DOS BLOCOS | 53 |
| 3.5.1 | <i>Absorção de água pelo método do cachimbo</i> | 53 |
| 3.5.2 | <i>Resistência de aderência à tração</i> | 55 |
| CAPÍTULO 4 | | 56 |
| ANÁLISE DOS RESULTADOS | | 56 |
| 4.1 | ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO | 56 |
| 4.1.1 | <i>Índice de Consistência</i> | 56 |
| 4.1.2 | <i>Densidade de massa e Teor de ar incorporado</i> | 58 |
| 4.2 | ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO | 61 |
| 4.2.1 | <i>Resistência à tração na flexão</i> | 61 |
| 4.2.2 | <i>Resistência à compressão simples</i> | 62 |
| 4.2.3 | <i>Módulo de elasticidade dinâmico</i> | 65 |
| 4.3 | COMPRESSÃO DOS PRISMAS DE 2 BLOCOS | 67 |
| 4.4 | AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS | 69 |
| 4.4.1 | <i>Absorção de água pelo método do cachimbo</i> | 69 |
| 4.4.2 | <i>Resistência à aderência</i> | 80 |
| CAPÍTULO 5 | | 84 |
| CONCLUSÕES FINAIS | | 84 |
| 5.1 | CONCLUSÕES | 84 |
| 5.2 | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 86 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 87 |

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A poluição ambiental não é um problema novo, tão pouco um problema regional. Trata-se de um problema global, associado ao crescimento populacional e à urbanização do planeta (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Neste contexto, os subprodutos de origem vegetal, por exemplo, os produtos agroindustriais, resíduos ou cinzas, vêm sendo estudados para utilização como combustíveis, fertilizantes e estabilizantes de solos. Há uma grande necessidade da reciclagem desses produtos para a preservação do meio ambiente, reduzindo custo e o consumo de energia na produção de materiais e componentes de construção.

Para que sejam utilizados na construção civil, os novos materiais devem atender às exigências físicas e mecânicas, de acordo com as normatizações vigentes, tais como resistência, durabilidade, trabalhabilidade, entre outras características desejáveis, para que sejam superiores ou similares aos produtos já existentes no mercado (GHAVAMI; MARINHO, 2005; BARBOZA et al, 2008; LIMA; ROSSIGNOLO, 2010). Portanto, é importante que essas exigências sejam alcançadas visto que o setor da construção civil necessita oferecer materiais que tenham boa qualidade e vida útil prolongada.

A cinza da casca de arroz (CCA) é um desses subprodutos de origem vegetal, que advém de processos de queima da casca do arroz para a geração de energia calorífica no processo de parboilização deste cereal e em termoelétricas. Conforme Pouey (2006) este processo gera grande quantidade de cinza, pois cerca de 20% da casca de arroz é convertida em cinza, a qual ainda é considerada um resíduo agroindustrial sem destinação certa, sendo simplesmente descartada ou lançada em aterros, o que gera problemas ambientais, tais como poluição de mananciais de água, do ar e do solo. O estado do Rio Grande do Sul é, historicamente, o maior produtor de arroz no Brasil, com cerca de 45% da produção nacional, variando este produto conforme as condições climáticas de cada ano.

A empresa Pilecco Nobre Alimentos LTDA, localizada na cidade de Alegrete/RS, fronteira oeste do Rio Grande do Sul, implantou um sistema de combustão com leito fluidizado onde, a casca de arroz é utilizada para gerar energia elétrica renovável, gerando uma sílica amorfa. Segundo Bezerra (2010), a CCA com alto teor de sílica, vem sendo estudada por vários pesquisadores, onde observaram que a cinza apresenta resultados satisfatórios quanto aos aspectos físicos e mecânicos quando utilizadas em argamassas e concretos.

A utilização de adições minerais em concretos e argamassas vem sendo uma das soluções encontrada para diminuir os impactos ambientais referentes aos rejeitos industriais, como por exemplo, a cinza volante, escória de alto forno, sílica ativa, metacaulim e a cinza de casca de arroz, essas estão sendo analisadas a fim de possibilitar seu emprego na construção civil (SILVA et al, 2006).

Tashima (2006) afirma que a utilização de materiais pozolânicos interfere nas propriedades mecânicas de argamassas e concretos, contribuindo, principalmente, com o aumento da resistência à compressão, com a diminuição da permeabilidade e com aumento da durabilidade.

Diante da situação exposta, na qual se busca diminuir os impactos ambientais causados pelos resíduos de origem vegetal, no caso desta pesquisa, os proporcionados pela casca de arroz, apresenta-se o seguinte problema de pesquisa: qual o comportamento das argamassas de assentamento e revestimento em bloco cerâmico estrutural e de vedação ao ser adicionada a cinza da casca de arroz?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa consiste em avaliar a incorporação da cinza da casca de arroz (CCA) em substituições parciais sobre o cimento Portland para argamassa de assentamento e argamassa de revestimento em bloco cerâmico estrutural e de vedação.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, fazer-se-ão os seguintes ensaios:

- Analisar o comportamento da argamassa com substituição parcial de CCA no seu estado fresco.
- Analisar o comportamento da argamassa com substituição parcial de CCA no seu estado endurecido.
- Determinar a resistência à compressão de prismas de dois blocos assentados com argamassa com e sem substituição de CCA.
- Verificar a permeabilidade e absorção de água dos tipos de argamassas adotadas.
- Determinar a aderência por arranchamento entre a argamassa e a unidade cerâmica.

Capítulo 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Bloco Estrutural e de Vedação

Conforme Camacho (2006), as unidades (blocos e tijolos) são os componentes mais importantes que compõe a alvenaria estrutural, uma vez que são eles que comandam a resistência à compressão e determinamos procedimentos para aplicação da técnica da coordenação modular nos projetos.

Segundo Ramalho e Corrêa (2003) apud Viapiana (2009), quanto ao material componente, às unidades mais empregadas no Brasil para alvenaria estrutural são respectivamente unidade de concreto, unidades cerâmicas e unidades sílico-calcáreas. Existem dois tipos de blocos: os blocos de vedação e os blocos estruturais.

Os blocos estruturais ou portantes, além de exercerem a função da vedação, também são destinados à execução de paredes que constituirão a estrutura resistente da edificação, podendo substituir pilares e vigas de concreto. Esses blocos são utilizados com os furos sempre na vertical. Já os blocos de vedação são aqueles destinados à execução de paredes que suportarão o peso próprio (BARBOSA; JOHN; SILVA; SILVA; 2011).

2.2 Adições minerais

Adições minerais são materiais com propriedades cimentantes (ou pozolânicas), que são adicionados ao concreto e argamassa em quantidades variáveis em relação à massa de cimento. Podem ser empregadas de duas formas: como substituição parcial do cimento ou como adição em teores variáveis em relação à massa ou volume do cimento (SILVEIRA, 2006).

A adição pozolânica em concretos e argamassas de cimento Portland apresenta inúmeros benefícios às propriedades do concreto, tanto em relação à sua

reologia no estado fresco, mas principalmente, ao comportamento mecânico e de durabilidade no estado endurecido (NETTO, 2006).

Outro ponto a destacar é que as adições minerais possuem a propriedade de reagir com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), da hidratação do clínquer e/ou cimento Portland, e formar como produto silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que precipitam nos poros capilares reduzindo a permeabilidade e a absorção (SILVA, 2006). Essa característica é chamada de efeito pozolânico.

As pozolanas podem ser naturais, materiais de origem vulcânica, geralmente ácidos, ou de origem sedimentar; podem também ser artificiais, materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica NBR 5736 (ABNT, 1991).

As adições minerais mais utilizadas são aquelas que têm em sua composição: sílica amorfa como a sílica ativa, a escória de alto-forno, a cinza volante e a cinza de casca de arroz (FURQUIM, 2006).

2.2.1 Cinza da Casca de Arroz

O arroz é um dos alimentos mais consumidos não só no Brasil como em quase todos os países do mundo, e sua plantação só pode ser feita em locais que ofereçam condições adequadas de clima e solo, condições estas que podem ser encontradas em quase todas as regiões do Brasil (MUSSATTO, 2002, *apud* FERREIRA, 2005).

Durante o crescimento do arroz, há a formação da casca de arroz como revestimento ou capa protetora dos grãos. Removidas durante o refino do arroz, estas cascas possuem baixo valor comercial, pois o SiO_2 e as fibras não possuem valor nutritivo e por isso não são usados na alimentação humana ou animal (AMICK, *apud* FERREIRA, 2005).

A cinza da casca do arroz (CCA) é um resíduo obtido com a queima da casca do arroz em fornalhas, a céu aberto, ou em fornos especiais, à temperatura controlada (MILANI, 2008).

A casca do arroz (CA), um dos mais abundantes resíduos agroindustriais, é

um material fibroso constituído, principalmente, de celulose (50%), lignina (30%) e resíduo orgânico (20%). O resíduo inorgânico contém, em média, 95 a 98%, em peso, de sílica, na forma amorfa hidratada, perfazendo 13% a 29% do total da casca (HOUSTON, 1972 apud POUHEY, 2006). A casca do arroz possui elevado volume e baixa densidade.

Segundo Bezerra (2010), quando utilizada de forma correta, a casca de arroz pode se tornar uma importante aliada na busca do desenvolvimento sustentável, uma vez que pode ser utilizada como fonte alternativa e renovável de energia (queima da casca como combustível), e as cinzas geradas no processo de combustão podem ser incorporadas ao concreto e argamassas, como pozolana, em substituição parcial do cimento.

A cinza da casca de arroz apresenta propriedades químicas semelhantes à Sílica Ativa. De acordo com Vasconcelos (2009), a sílica é uma combinação de silício e oxigênio na forma SiO_2 e na cinza de casca de arroz aparece em abundância, em valores próximos a 90% de sua composição química. Junto à sílica pode ter até 15% em peso de carbono, dependendo do tipo de queima empregado em sua produção, o que pode ocasionar a desvalorização comercial do produto.

O uso da cinza da casca de arroz tem como grande parte de sua potencialidade ligada à forma e temperatura de queima, estas responsáveis pela cristalização ou não de seu arranjo molecular bem como nas suas propriedades químicas e físicas (VASCONCELOS, 2009).

De acordo com Milani (2008), a estrutura morfológica da sílica presente nas cinzas de casca de arroz afeta diretamente a atividade pozolânica da mesma. Pesquisas indicam que a queima da casca de arroz, sob temperaturas elevadas (acima de 850 °C), destrói a estrutura alveolar da sílica amorfa presente na casca de arroz, resultando no aparecimento de formas cristalinas de sílica (quartzo, cristobalita e tridimita), sendo estas relativamente inativas, pois apresentam baixa solubilidade em água e nenhuma capacidade aglomerante. Já as temperaturas inferiores a 400 °C resultam em cinzas com elevado teor de carbono de efeitos comprovadamente adversos sobre suas características pozolânicas, pois o carbono, além de não participar das reações de hidratação, sua presença significa menor teor

de pozolana disponível para reação.

Quando a calcinação da casca de arroz é realizada a temperaturas controladas (400 °C a 850 °C), há a remoção da matéria orgânica e a preservação da sílica no estado amorfo, resultando em cinzas de maior solubilidade em meio aquoso e com capacidade aglomerante (MILANI, 2008).

A adição da cinza da casca do arroz (sílica) misturada ao cimento, juntamente com os demais agregados (grauído e miúdo), permite a elaboração do concreto e argamassa mais compactos e com menor quantidade de vazios, diminuindo, assim, a porosidade, promovendo maior durabilidade e ficando menos vulneráveis ao ataque de agentes agressivos.

2.3 Argamassa

Argamassas são materiais de construção constituídos por aglomerantes, agregados minerais e água, tendo como principais funções revestir e assentar elementos da construção em geral, como blocos de vedação, cerâmica, blocos estruturais (OLIVEIRA, 2009).

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, 2001) prescreve que argamassa é a mistura homogênea de agregado(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditiva e adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalações próprias (argamassas industrializadas). Elas podem ser classificadas, quanto ao emprego, ao aglomerante utilizado, aos elementos ativos, à dosagem. As argamassas podem ser preparadas na obra, tendo todos os seus componentes misturados no momento do uso, ou industrializadas, que é uma mistura seca, preparada em fábrica, à qual somente se adiciona água no momento do uso. O uso desta última implica na racionalização no processo de fabricação da argamassa (OLIVEIRA, 2009).

Há vários registros de uso de argamassas pelos egípcios, etruscos, gregos e romanos, mas acredita-se que as primeiras argamassas surgiram na Pérsia antiga,

onde se usava alvenaria de tijolos secos, com assentamento de argamassas de cal (ROCHA, 2005). Vale destacar que durante o Império Romano, as argamassas se desenvolveram como sistema construtivo, sendo assim, utilizadas e aprimoradas.

Bezerra (2010) comenta que, no Brasil, as argamassas passaram a ser utilizadas no primeiro século de sua colonização, para assentamento de alvenaria de pedra. Este material é empregado no assentamento de alvenarias e na execução de revestimentos, logo, a argamassa deve ter as seguintes características: economia, poder de incorporação da areia, plasticidade, aderência, retenção de água, homogeneidade, compacidade, resistência à infiltração, à tração e à compressão e durabilidade. Cada tipo de aplicação necessita diferentes características e propriedades correlacionadas aos materiais empregados.

As argamassas podem ser utilizadas em assentamento de tijolos e blocos, impermeabilização de superfícies, regularização de paredes, pisos e tetos e também servem para dar acabamento às superfícies.

As argamassas são classificadas de acordo com sua finalidade em: argamassas para assentamento e argamassas para revestimento. Além disso, as argamassas possuem suas propriedades de acordo com o estado em que se apresenta, seja ele fresco ou endurecido.

2.3.1 Propriedades das argamassas no estado fresco

No estado fresco, as principais características da argamassa são:

- a) consistência;
- b) trabalhabilidade;
- c) plasticidade;
- d) capacidade de retenção de água;
- e) densidade de massa e teor de ar incorporado;
- f) adesão.

a) Consistência

Corresponde a resistência das argamassas no estado fresco as deformações que lhe são impostas, adequando-se a quantidade de água utilizada influenciando-se pelos seguintes fatores: relação água/aglomerante, relação aglomerante/areia,

granulometria da areia, natureza e qualidade do aglomerante.

Segundo Silva (2006), a consistência pode ser influenciada pelo tipo, forma e características texturais do agregado, apesar de não haver trabalhos conclusivos que quantifiquem tal influencia.

Diversos autores classificam as argamassas, segundo a consistência, em secas, onde a pasta preenche os vazios entre os grãos, plásticas, onde a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados, e em fluidas, onde os grãos ficam imersos na pasta (SILVA, 2006).

Para a avaliação da consistência da argamassa é utilizada, no Brasil, a mesa de consistência (*flow table*) prescrita pela NBR 7215 (ABNT, 1996) e são realizados procedimentos de ensaio para determinação do índice de consistência prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005). Entretanto, apesar da grande utilização, este é um dos ensaios mais criticados, pois vários são os autores que comentam que a mesa não tem sensibilidade para medir a reologia da argamassa, tais como: Gomes et al., (1995); Yoshida; Barros, (1995); Cavani et al., (1997); Pillegi, (2001); John, (2003); Nakakura, (2003); Bauer et al., (2005); Antunes, (2005) apud Silva, (2006).

b) Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma das mais importantes propriedades das argamassas no estado fresco, haja vista a sua obrigatoriedade para que possa ser convenientemente utilizada.

É a combinação das características das argamassas relacionadas com a coesão, consistência, plasticidade, viscosidade, adesividade e massa específica (SANTOS, 2008).

Em termos práticos, a trabalhabilidade significa facilidade de manuseio. Pode-se dizer que uma argamassa é trabalhável, de um modo geral, quando ela distribui-se facilmente ao ser assentada, não gruda na ferramenta quando está sendo aplicada, não segrega ao ser transportada, não endurece em contato com superfícies absorvivas e permanece plástica por tempo suficiente para que a

operação seja completada (SABBATINI, 1984).

Para as argamassas de assentamento esta é uma propriedade muito importante para que não ocorram patologias oriundas da deformação das juntas. Quando a argamassa se mantém íntegra na colher de pedreiro durante manuseio horizontal, por exemplo, pode-se considerar a mesma trabalhável por possuir coesão. Além disso, deve ser fluida, permanecer plástica durante o tempo em que for aplicada, seja em um revestimento ou no assentamento de blocos, até os acabamentos finais. As principais propriedades indicadas para determinar a trabalhabilidade da argamassa de revestimento são a consistência e a plasticidade. (OLIVEIRA, 2009).

Como afirmam (Parsekian e Furlan Jr. 2003 apud Oliveira 2009), "... a trabalhabilidade resulta da capacidade das partículas deslizarem entre si, devido à lubrificação da pasta + ar". Sendo assim, pode-se afirmar que esta propriedade depende da quantidade de água, da relação aglomerado/agregado e da quantidade de cal, pois quanto maiores, melhor a trabalhabilidade. Também está associada com a granulometria e a forma dos grãos, já que sendo menor o módulo de finura, a granulometria mais contínua e os grãos mais arredondados, maior é a trabalhabilidade.

A trabalhabilidade é medida por meio de ensaios de consistência, alguns ensaios já foram citados anteriormente.

c) Plasticidade

A plasticidade de uma argamassa pode ser definida como a propriedade de manter a deformação causada pela ação de forças externas, mesmo depois de cessadas essas cargas, permitindo que a argamassa deforme-se sem ruptura. Ao lado da consistência, é a principal propriedade, no estado fresco, capaz de expressar a trabalhabilidade da argamassa (RAGO; CINCOTTO, 1997 apud ARAÚJO, 2001).

Segundo Selmo (1989), a plasticidade das argamassas é função do teor de finos (inclusive aglomerantes) com dimensão inferior a 0,075 mm. São as partículas

finas que melhoram a coesão interna da mistura, permitindo que a argamassa mantenha as deformações impostas pela execução, pois menores apresentam maior força de tensão superficial.

Conforme Cascudo (2005) apud Bezerra (2010), a plasticidade adequada para cada mistura, de acordo com a finalidade e forma de aplicação da argamassa, demanda uma quantidade ótima de água a qual significa uma consistência ótima, sendo esta função do proporcionamento e natureza dos materiais.

d) Capacidade de retenção de água

É a 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 ou pela absorção de água da base (BEZERRA, 2010).

Segundo Davison Araújo (1974) apud Araújo (1995), a água é um ingrediente essencial numa argamassa. Ela tem duas funções primárias:

- a) É um líquido que contribui para a trabalhabilidade, uma propriedade essencial para a colocação da argamassa na parede;
- b) Ela se combina quimicamente com materiais aglomerantes ou determina condições para possibilitar reações de endurecimento, resultando no enrijecimento da argamassa.

A retenção de água está relacionada com a tensão superficial do aglomerante: uma argamassa tende a conservar a água necessária para molhar os grãos de aglomerantes e agregados, as bolhas de ar incorporado e as macromoléculas presentes em suspensão coloidal (ROSELLO, 1976 apud ARAÚJO, 1995).

Para Tristão (1995) apud Araújo (2001) a retenção de água é a capacidade da argamassa de reter a água de amassamento quando colocada em contato com uma superfície absorvente. Essa propriedade influencia algumas características do revestimento de argamassa, não só no estado fresco, mas também no estado endurecido, como a evolução do endurecido.

A retenção de água também influenciará a resistência de aderência e a resistência à penetração de umidade no revestimento (OLIVEIRA, 1989).

A determinação da capacidade de retenção de água das argamassas é feita em relação a um padrão de absorção, podendo-se citar, como exemplo, a NBR 13277 (ABNT, 1995), que mede a retenção de água frente à absorção de doze discos de papel filtro padrão (85 g/m²), por um período de dois minutos.

Para a determinação desta propriedade existem dois procedimentos de ensaio: pela NBR 13277 (ABNT, 1995) e pela CSTB 2669-4.

e) Densidade de massa e teor de ar incorporado

A densidade de massa e o teor de ar são propriedades das argamassas que afetam a sua trabalhabilidade.

Segundo Araújo (1995) a influência dessas propriedades na trabalhabilidade das argamassas pode ser atribuída ao fato de que essas propriedades são dependentes da natureza e da dosagem dos materiais constituintes de uma argamassa.

A densidade de massa corresponde à relação entre a massa e o volume de material, sendo importante por ser um dos fatores que afetam a trabalhabilidade do material, pois à medida que a densidade diminui, a argamassa se torna mais leve e com melhor trabalhabilidade (BEZERRA, 2010).

O teor de ar incorporado é a quantidade de ar existente em certo volume de argamassa. À medida que o teor de ar aumenta, a densidade da argamassa diminui, interferindo diretamente em outras propriedades da argamassa no estado fresco, como a trabalhabilidade, ou seja, uma argamassa com menor densidade de massa e maior teor de ar, apresenta melhor trabalhabilidade, afetando negativamente quanto às propriedades de resistência mecânica e a aderência da argamassa, que são propriedades importantes para que as argamassas sejam utilizadas (BEZERRA, 2010).

A avaliação destas propriedades pode ser feita pelos métodos preconizados na NBR 13278 (ABNT, 2005).

f) Adesão

Espera-se que no instante da aplicação da argamassa fresca contra a base de aplicação ocorra a adesão inicial. As argamassas são aplicadas, em estado plástico, sobre uma base sólida, previamente tratada ou não (ARAÚJO, 1995).

De acordo com Bezerra (2010), adesão corresponde à aderência da argamassa no estado fresco ao substrato. A ocorrência desta adesão depende das características de trabalhabilidade, porosidade ou rugosidade, ou até mesmo de um tratamento prévio que aumente a superfície de contato entre os materiais.

A adesão inicial ou a aderência da argamassa no estado fresco ao substrato a revestir deve-se, em princípio, às características reológicas da pasta aglomerante; a baixa tensão superficial da pasta, sendo função inversa do consumo de aglomerantes, é o que propicia a sua adesão física ao substrato, assim como aos próprios grãos do agregado miúdo (SILVA, 2006).

A determinação da resistência de aderência dos revestimentos argamassados tem sido a forma mais utilizada para avaliar a qualidade do revestimento aplicado por já fazer parte do cotidiano das empresas construtoras e ser um ensaio relativamente prático, além de gerar resultados de uma maneira direta, embora o método possa ser criticado por não descrever efetivamente o desempenho de um revestimento argamassado (SPRINGER, 2008).

2.3.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido

A seguir são apresentadas algumas propriedades, dentre as mais importantes das argamassas no seu estado endurecido.

- a) aderência;
- b) capacidade de deformação;
- c) retração na secagem;
- d) módulo de elasticidade;
- e) permeabilidade;
- f) resistência mecânica;
- g) durabilidade.

a) Aderência

A aderência pode ser definida como a capacidade de resistência a tensões normais ou tangenciais à superfície de interface entre camadas e que ocorre devido à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação (CARASEK, 2007). Essa propriedade não depende somente da argamassa, mas também das condições do substrato onde ela será aplicada.

A aderência à alvenaria é dividida em dois tipos descritos a seguir (CARVALHO JR et al., 2005):

- aderência química: corresponde à resistência de aderência que advém de forças covalentes ou forças de Van der Waals, desenvolvidas entre a unidade de alvenaria e os produtos da hidratação do cimento;
- aderência mecânica: formada pelo intertravamento mecânico dos produtos da hidratação do cimento, transferidos para a superfície dos poros dos blocos de alvenarias devido ao efeito da sucção ou absorção capilar.

De acordo com Araújo (1995), a avaliação de aderência dos revestimentos se faz por meio de ensaios de arrancamento de corpos-de-prova cortados transversalmente nos revestimentos, obtendo-se, então, os valores de resistência à tração ou ao cisalhamento.

A avaliação da aderência de revestimento pode ter finalidades diversas, que vão desde a comparação de diferentes composições ou traços de argamassas a trabalhos de campo, como por exemplo, diagnósticos de revestimentos com problemas patológicos.

b) Capacidade de deformação

De acordo com Barrose Sabbatini (1998), *apud* Santos (2008), 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.

Segundo Carasek (2007) as deformações podem ser de grande ou de

pequena amplitude. O revestimento só tem a responsabilidade de absorver as deformações de pequena amplitude que ocorrem em função da ação da umidade ou da temperatura e não as de grande amplitude, provenientes de outros fatores, como recalques estruturais, por exemplo.

À medida que a argamassa vai secando, retrai-se e surgem tensões crescentes no revestimento e na camada suporte. As tensões de tração farão com que a argamassa sofra deformações de sentido contrário ao da retração durante a secagem bem maior do que quando já endurecida, uma vez que seu módulo de elasticidade é inferior ao valor final (FIORITO, 1985 *apud* ARAÚJO, 1995).

c) Retração na secagem

Este fenômeno está associado com a variação do volume da pasta aglomerante e tem grande importância no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e durabilidade (BEZERRA, 2010).

De acordo com Kopschitz et al., (1997) *apud* Araújo (2001), a retração na secagem pode ocorrer durante a pega e após o endurecimento da argamassa. No estado fresco pode ocorrer pela saída de água da mistura e na argamassa endurecida, pela perda de água fisicamente aderida à parede dos vazios capilares da pasta.

A influência da quantidade de água para esta propriedade é importante, pois quando se possui alta relação água/aglomerante, a pasta, retrai ao perder a água em excesso de sua composição. Pode-se dizer que parte desta retração é consequência das reações químicas da hidratação do cimento, o fator predominante é devido provavelmente à secagem (BEZERRA, 2010).

Carasek (2007) *apud* Santos, (2008) 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.

d) Módulo de elasticidade

Segundo Sabatini (1984), *apud* Silva (2006), elasticidade é a capacidade que

a argamassa, no estado endurecido, apresenta em se deformar, sem apresentar ruptura, quando sujeita a solicitações diversas, e de retornar à dimensão original inicial quando cessam estas solicitações.

De acordo com Cincotto et al. (1995) apud Silva (2006), a elasticidade é, portanto, uma propriedade que determina a ocorrência de fissuras no revestimento e, dessa forma, influi decisivamente sobre o grau de aderência da argamassa à base e, conseqüentemente, sobre a estanqueidade da superfície e sua durabilidade.

A avaliação desta propriedade pode ser feita pelo método preconizado na NBR 15630 (ABNT, 2008), na qual se determina o módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica.

e) Permeabilidade

Permeabilidade é a capacidade do material de permitir a percolação de água pelos seus vazios, característica que influencia muito as condições de habitabilidade da edificação (ARAÚJO, 2001).

A permeabilidade é a propriedade que caracteriza a passagem da água através de um material, componente ou elemento de construção, por meio de infiltração sob pressão, capilaridade ou por difusão de vapor d'água.

De acordo com Bianchin (1999), a permeabilidade é a maior ou menor possibilidade de passagem da água através de um material, componente ou elemento de construção, podendo ocorrer por infiltração sob pressão, capilaridade e por difusão de vapor d'água, através dos condutos capilares.

A permeabilidade ocorre principalmente na zona de transição entre a pasta e o agregado. Sabe-se que a zona de transição é fraca e vulnerável à fissuração devido a esforços diferenciais entre a pasta do cimento e o agregado induzido por retração de secagem, contração térmica e carga aplicada externamente (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A absorção de água por capilaridade em corpos-de-prova de argamassas pode ser determinado por meio do ensaio prescrito na norma NBR 9779 (ABNT, 1995). Outro método utilizado é o método da DIN 52617 (DIN, 1987), que determina a absorção

de água de materiais de construção, caracterizando e avaliando as propriedades capilares das argamassas contra a chuva (BIANCHIN, 1999).

Para a avaliação da estanqueidade de elementos de paredes também se dispões de métodos mais expeditos (de campo) como o de Permeabilidade “In situ” do IPT (IPT, 1981, b), bem como o Método do cachimbo - CSTC, 1982. (ARAÚJO, 2001).

f) Resistência mecânica

A resistência mecânica das argamassas, apesar de não ser uma propriedade fundamental como é para o concreto, deve ser considerada pelo simples fato de que dela depende a elasticidade do revestimento e, por conseguinte, a durabilidade (TRISTÃO, 1995 apud ARAÚJO, 2001).

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 (SELMO, 1989).

De acordo com Carasek (2007), apud Santos (2008), 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.

As argamassas devem possuir resistência mecânica compatível com os esforços a que serão solicitadas. Em argamassas de assentamento para alvenarias estruturais, a resistência à compressão é uma propriedade fundamental (SPRINGER, 2008).

Para controle da resistência mecânica de revestimento há a norma nacional NBR 13279 (ABNT, 2005), que adota o ensino de compressão simples de corpo-de-prova cilíndricos (10x5 cm) de argamassa.

g) Durabilidade

A durabilidade pode ser definida como a capacidade de resistência à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro mecanismo de

deterioração, conservando sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposta ao seu meio ambiente (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

É a propriedade que a argamassa apresenta para resistir ao ataque de meios e agentes agressivos, mantendo suas características físicas e mecânicas inalteradas com o decorrer do tempo e de sua utilização (SANTOS, 2008).

De acordo com Maciel, Barros e Sabbatini (1998) apud Santos (2008), 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 microorganismos, qualidade das argamassas e a falta de manutenção.

2.4 Tipos de Argamassas

2.4.1 Argamassa para Assentamento

Conforme Bezerra (2010), as argamassas de assentamento são utilizadas para construção de paredes e muros de tijolos ou blocos, além de servirem também para colocação de cerâmicas, azulejos, ladrilhos, entre outros materiais.

As propriedades das argamassas de assentamento para que apresentem um bom desempenho são: trabalhabilidade, aderência, resistência mecânica e capacidade de absorver deformações.

Estas argamassas possuem as seguintes funções:

- Unir os elementos de alvenaria e dar contribuição na resistência de esforços laterais.
- Distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda área resistente aos elementos de alvenaria.
- Selar as juntas para evitar a penetração das águas das chuvas.
- Absorver as deformações que ocorrem naturalmente na alvenaria, como as de origem de retração por secagem, térmica, entre outras.

2.4.2 Argamassa para Revestimento

As argamassas de revestimento são utilizadas para revestir paredes, tetos e muros, os quais, posteriormente, recebem acabamento como revestimentos cerâmicos, pinturas e entre outros (BEZERRA, 2010).

Na construção civil brasileira, o sistema construtivo tradicional para edifícios de múltiplos pavimentos é aquele composto por estrutura reticulada de concreto armado, com vedações verticais executadas em alvenaria de blocos (cerâmicos, de concreto, concreto celular auto-clavado e sílicio-calcário), revestidos interna e externamente com argamassa mista a base de cimento, cal e areia (JUNIOR, 2010).

Segundo Santos (2008), os revestimentos de argamassa têm como função proteger os elementos de vedação das edificações da ação direta dos agentes agressivos, auxiliar as vedações no cumprimento das suas funções, regularizar a superfície dos elementos de vedação, servir de base para aplicação de outros revestimentos ou constituir-se no acabamento final.

De acordo com Sabbatini, Selmo e Silva(1988), apud Junior (2010), são funções dos revestimentos:

- proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos e, por consequência, evitar a degradação precoce das mesmas, sustentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios;
- auxiliar as vedações a cumprir com as suas funções, tais como: isolamento termo-acústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo. Por exemplo, um revestimento externo normal de argamassa (30 a 40% da espessura da parede) pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e 100% responsável pela estanqueidade de uma vedação de alvenaria comum;
- regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir de base para a aplicação do acabamento final;
- funções estéticas, de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do edifício.

A função de proteção dos revestimentos está, em princípio, associada a questões de durabilidade dos elementos estruturais e de vedação, evitando a ação direta dos agentes agressivos ou deletérios que atuam sobre as superfícies. Assim, a proteção promovida pelos revestimentos argamassados tem o caráter básico de melhor conservar as propriedades estruturais e de vedação das paredes. Quando o revestimento de argamassa estiver associado a outros revestimentos (por exemplo, um revestimento de pastilhas cerâmicas, azulejos ou "Fórmica") ele tem também as funções de substratos. Deve-se salientar que não é função do revestimento dissimular imperfeições grosseiras da alvenaria ou da estrutura de concreto armado, como por exemplo, o desaprumo e desalinho provenientes da ausência de cuidado na execução de estruturas ou paredes. É seriamente prejudicial ao revestimento encobrir tais falhas com massa.

A NBR 13749 (ABNT, 1996) 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.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

A partir dos objetivos estabelecidos, foi elaborado o programa experimental do trabalho onde, serão descritos os materiais, os equipamentos e os métodos experimentais empregados para o desenvolvimento da pesquisa.

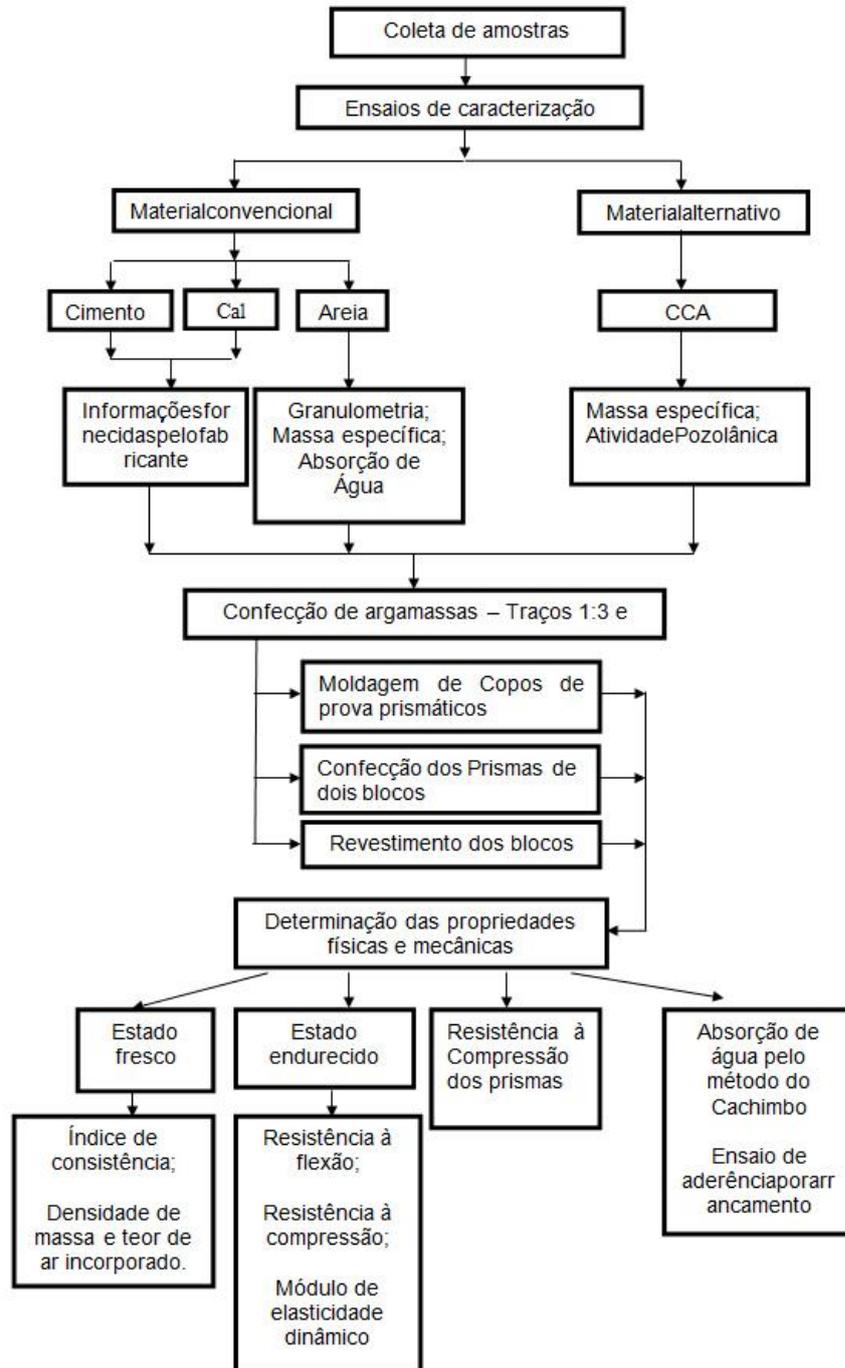
O estudo experimental foi realizado no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), em parceria com o laboratório da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Quanto ao procedimento experimental, este foi dividido em sete etapas de trabalho:

1. Determinação dos materiais;
2. Caracterização dos materiais;
3. Produção das argamassas de assentamento e revestimento;
4. Confecção dos prismas de dois blocos;
5. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas das argamassas de assentamento e revestimento, no estado fresco;
6. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas das argamassas de assentamento e revestimento, no estado endurecido;
7. Avaliação das propriedades físicas das argamassas de revestimento, aplicadas como revestimento.

Para facilitar a visualização da execução do programa experimental, o fluxograma (Figura 1) mostra esquematicamente todas as etapas executadas para a realização deste.

Figura 1- Programa Experimental



Fonte: Elaboração própria

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Bloco de Alvenaria Estrutural e de Vedação

Foram utilizados dois tipos de blocos para a confecção dos prismas, blocos de alvenaria estrutural e blocos de alvenaria de vedação, conforme ilustração na Figura 2, onde na Figura 2 (a) apresenta bloco de vedação com faces nervuradas e a Figura 2 (b) apresenta bloco estrutural com faces lisas. A Tabela 1 indica as propriedades do bloco estrutural.

Figura 2 – Blocos de alvenaria

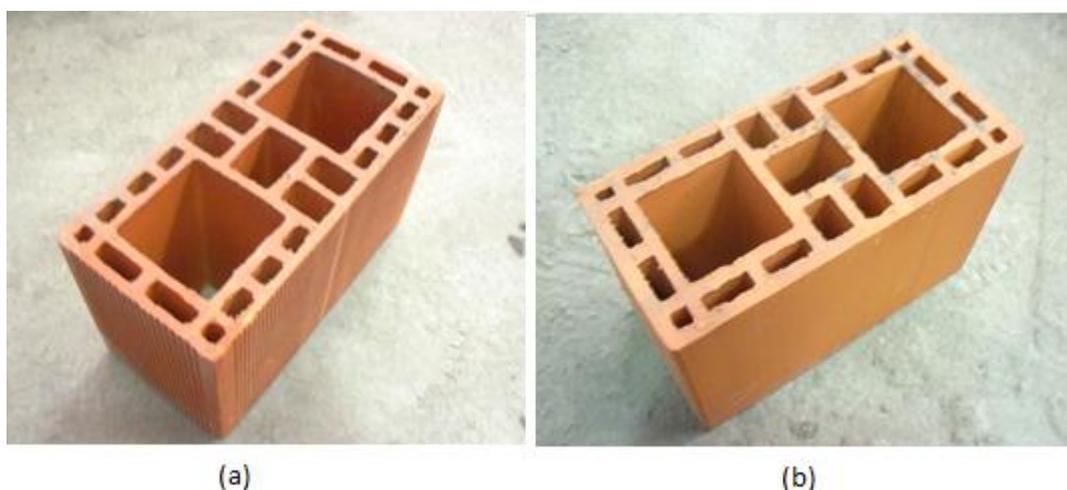


Tabela 1 – Propriedades do bloco cerâmico estrutural

| | |
|--|--------------|
| Dimensões (cm) | 14 x 19 x 29 |
| Área Bruta (cm ²) | 403,35 |
| Área Líquida (cm ²) | 160,26 |
| Resistência (Mpa) | 10 |
| Índice de absorção d'água AA (%) | 9,5 |
| Índice de absorção de água inicial - AAI (g/193,55cm ² /min) | 32 |

3.1.2 Cimento Portland

Para o desenvolvimento da presente pesquisa foi utilizado o cimento Portland CP V-ARI de alta resistência inicial. A especificação deste cimento é definida pela NBR 5733 (ABNT, 1991). Assim, após aquisição deste cimento o mesmo foi devidamente acondicionado no laboratório de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, dentro de um saco plástico, para lacrá-lo melhor, visando à manutenção de suas propriedades durante o uso deste nos ensaios. As características físicas, químicas e mecânicas do cimento Portland CP V-ARI, de acordo com informações fornecidas pelo fabricante, estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição do Cimento CP V-ARI

| | Análise do Cimento | Exigência da Norma | NBR |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------|
| | Finura | | |
| Resíduo na peneira 75mm [%] | 0,1 | ≤ 6,0 | 11579/91 |
| Área específica [m ² /Kg] | 487 | ≥ 300 | NM 76/98 |
| | Tempo de Pega | | |
| Início [min] | 194 | ≥60 | NM 65/03 |
| Término [min] | 259 | - | NM 65/03 |
| Expansibilidade a quente [mm] | 0,46 | ≤5,0 | 11582/91 |
| Massa específica [g/cm ³] | 2,96 | - | NM 23/01 |
| | Resistência à Compressão [MPa] | | |
| 1 dia | 23,1 | ≥11 | 7215/96 |
| 3 dias | 33,2 | ≥24 | 7215/96 |
| 7 dias | 38,3 | ≥34 | 7215/96 |
| 28 dias | 46,7 | - | 7215/96 |
| | Propriedades Químicas | | |
| Perda ao Fogo [%] | 3,6 | ≤4,5 | NM 18/04 |
| Óxido de Magnésio [%] | 5,66 | ≤6,5 | NM 14/04 |
| Anidrido Sulfúrico | 3,45 | ≤4,5 | NM 16/04 |
| Resíduo Insolúvel | 11,8 | 10 a 20 | NM 22/04 |

Fonte: Empresa Votorantim.

3.1.3 Cal Hidratada

A cal hidratada utilizada foi do tipo CH-II cuja especificação desta é regulamentada pela NBR 7175 (ABNT, 2003). A cal é vendida comercialmente nas lojas de construções em sacos de 20 kg, e é encontrada facilmente na região. A cal hidratada foi acondicionada em sacos plásticos devidamente lacrados de forma a

não modificar as propriedades originais.

As características físicas da cal hidratada utilizada se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise Física da Cal Hidratada CH II

| ENSAIO | VALOR OBTIDO | VALOR ESPECIFICADO | SITUAÇÃO |
|---------------------------------------|--------------|--------------------|----------|
| Finura/peneira nº 30 | - | ≤ 0,5% | - |
| Finura/peneira nº 200 | - | ≤ 15% | - |
| Massa específica (g/cm ³) | 2,49 | - | - |
| Estabilidade | - | Ausência | - |
| Retenção de água | 88 | ≥ 75% | A |
| Plasticidade | 344 | ≥ 110% | A |
| Incorporação de areia | - | ≥ 2,5% | - |

Fonte: Empresa Dagoberto Barcellos S.A

3.1.4 Água de amassamento

Foi utilizada água potável para a mistura nas argamassas, à água proveniente da rede pública de distribuição de água, da empresa CORSAN.

3.1.5 Areia

Para a composição dos traços de argamassas foi utilizado como agregado miúdo uma areia média, de origem natural, proveniente do município de Manoel Viana. Os experimentos de caracterização desta areia foram realizados seguindo-se as recomendações das NBR para cada tipologia de ensaios. Assim, foi realizado o procedimento recomendado pela NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica, para a caracterização deste agregado (ABNT, 2003).

A massa específica foi determinada a partir das recomendações estabelecidas pela NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapmam (ABNT, 1987).

Para o ensaio de Absorção de água utilizou-se o procedimento recomendado pela NBR NM 30: agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Faltou o ano

A Tabela 4 detalha a composição da areia.

Tabela 4 – Composição granulométrica da areia

| Abertura de Peneiras (mm) | % Retida | % Retida Acumulada |
|---------------------------------------|----------|--------------------|
| 6,30 | 0,0 | 0,0 |
| 4,80 | 0,0 | 0,0 |
| 2,40 | 0,4 | 0,4 |
| 1,20 | 1,4 | 1,8 |
| 0,60 | 3,9 | 5,7 |
| 0,30 | 43,3 | 49,0 |
| 0,15 | 46,2 | 95,2 |
| FUNDO | 48,0 | 100,0 |
| TOTAL | 100,0 | 152,05 |
| DIÂMETRO MÁXIMO | | 1,2 |
| MÓDULO DE FINURA | | 1,52 |
| MASSA ESPECÍFICA (g/cm ³) | | 2,63 |
| ABSORÇÃO DE ÁGUA % | | 0,21 |

Fonte: Elaboração própria.

3.1.6 Cinza da casca de arroz

A cinza utilizada na pesquisa é a cinza da casca de arroz (CCA) encontrada facilmente na região. Segundo Righi (2012), a autora utilizando-se da mesma cinza da casca de arroz em sua pesquisa, fez o ensaio de pozolânicidade prescrito pela NBR 5752 (ABNT, 1992): Materiais Pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com Cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento. Os resultados encontrados por Righi (2012) nos ensaios da determinação da atividade pozolânica com o cimento Portland, bem como as resistências médias e a quantidade de água requerida, encontra-se na Tabela 5. Observa-se a partir desses resultados (Tabela 5) encontrados pela autora que o índice de atividade pozolânica para a CCA estudada encontra-se em conformidade com a NBR 12653 (ABNT, 1991): Materiais Pozolânicos, ou seja, a CCA obteve valor superior aos 75%, portanto, considerada como material pozolânico.

Tabela 5 – Índice de atividade pozolânica da CCA

| Material | Resistência Média (MPa) | IAP (%) | Água Requerida (%) |
|-------------------------------|-------------------------|---------|--------------------|
| Cinza da casca de arroz (CCA) | 13,97 | 120,25 | 106,06 |

Fonte: Righi, 2012.

Righi (2012) também fez o ensaio da massa específica da CCA, foi realizada seguindo as recomendações da NBR 23 (ABNT, 2000): Cimento Portland e Outros Materiais em Pó – Determinação da massa específica onde, a mesma, foi determinada por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier. Assim, a Tabela 6 apresenta o valor da massa específica da CCA. Os valores obtidos são semelhantes aos encontrados na literatura, por exemplo, Agopyan (1991) encontrou valores que variavam na faixa de 1,88 a 2,11 g/cm³, faixa esta semelhante à encontrada na pesquisa.

Tabela 6 – Massa Específica da CCA

| Material | Massa Específica (g/cm ³) |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| Cinza da casca de arroz (CCA) | 2,03 |

Fonte: Righi, 2012.

3.2 Produção das argamassas

Foram planejados dois tipos de confecção de argamassas, a primeira argamassa de assentamento e, a segunda de revestimento. Então, para a moldagem das argamassas foi adotada para a argamassa de assentamento o traço 1:3 (aglomerante:agregado), já para a argamassa de revestimento decidiu-se por o traço 1:2:8 (cimento:cal:agregado). Ambos os traços das argamassas; de assentamento e revestimento foram adotados nesta pesquisa pelo fato de estes

serem utilizados comumente nas obras de construção civil local. Assim, com o intuito de facilitar a substituição da cinza da casca de arroz, sem alterar o modo convencional ou tradicional já adotado e praticado no dia-a-dia pelos pedreiros da região. Então, esses dois traços foram tidos como traços padrão, ou seja, traço de referência (base) para realizar as comparações com as argamassas com substituições do cimento pela CCA.

A substituição parcial de cimento pela CCA foram às proporções de 10%, 15%, 20% e 30%, foram substituídas na argamassa de assentamento, denominada nesta de argamassa de assentamento de referência (sem adição) e na argamassa de revestimento, tida nesta como argamassa de revestimento de referência, totalizando 10 (dez) tipologias de traços, ou seja, 5 (cinco) traços de argamassa de assentamento, tendo 4 (quatro) com adição de CCA e 1 (uma) sem adição e, 5 (cinco) traços de argamassas de revestimento, sendo 4 (quatro) com adição de CCA e 1 (uma) sem adição. A consistência da argamassa de assentamento como a de revestimento foi fixada em (255 ± 10) mm.

As argamassas foram produzidas no laboratório de Engenharia Civil da UNIPAMPA, seguindo-se as recomendações da NBR 13276 (ABNT, 2005), na qual para a mistura (proporcionamento), foi utilizada a argamassadeira mecânica. As etapas para a moldagem dos corpos-de-prova (CP's) iniciou ao colocar toda a quantidade de água na cuba de alumínio da argamassadeira, posteriormente, foi adicionado o cimento, a cal (traço de referencia) e CCA (traços com substituições parciais do cimento pela CCA). A velocidade de mistura desses materiais no misturador foi baixa com durante 30 segundos. Após, foi adicionado a areia no decurso de 30 segundos, aumentando a velocidade do misturador de baixa para alta, misturando-se todos os insumos por mais 30 segundos. Ao término do tempo, foi desligado o misturador por 1min e 30 segundos, retirando-se todo o material que ficou aderido à pá e às paredes da cuba. Imediatamente, após este intervalo, o misturador foi ligado na velocidade alta por mais 1 minuto.

Para melhor ilustrar a consistência e a mistura desta argamassa a Figura 3 mostra os todos os materiais já misturados na argamassadeira.

Figura 3 – Mistura dos insumos



Fonte: Elaboração própria

As Tabelas 7 e 8 mostram as tipologias dos traços das duas argamassas; de assentamento e de revestimento, respectivamente, e as porcentagens das substituições do cimento Portland pela cinza de casca de arroz utilizada na pesquisa. A idade para realização dos ensaios de compressão e tração na flexão foi aos 28 dias para ambas as argamassas.

Tabela 7 – Traço da argamassa de Assentamento

| Argamassa | AA0 | AA10 | AA15 | AA20 | AA30 |
|--------------------------|-----|------|------|------|------|
| Traço (cimento:areia) | 1:3 | 1:3 | 1:3 | 1:3 | 1:3 |
| CCA (%) | - | 10 | 15 | 20 | 30 |

Fonte: Elaboração própria.

Onde as abreviações da Tabela 7 representam:

AA0 – argamassa de assentamento sem adição de CCA;

AA10 – argamassa de assentamento com 10% de substituição do cimento por CCA;

AA15 – argamassa de assentamento com 15% de substituição de cimento por CCA;

AA20 – argamassa de assentamento com 20% de substituição de cimento por CCA;

AA30 – argamassa de assentamento com 30% de substituição de cimento por CCA.

Tabela 8 – Traço da argamassa de Revestimento

| Argamassa | AR0 | AR10 | AR15 | AR20 | AR30 |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Traço (cimento:cal:areia) | 1:2:8 | 1:2:8 | 1:2:8 | 1:2:8 | 1:2:8 |
| CCA (%) | - | 10 | 15 | 20 | 30 |

Fonte: Elaboração própria.

Onde as abreviações da Tabela 8 representam:

AR0 – argamassa de revestimento sem adição de CCA;

AR10 – argamassa de revestimento com 10% de substituição do cimento por CCA;

AR15 – argamassa de revestimento com 15% de substituição de cimento por CCA;

AR20 – argamassa de revestimento com 20% de substituição de cimento por CCA

AR30 – argamassa de revestimento com 30% de substituição de cimento por CCA.

3.2 Caracterização das argamassas no estado fresco

3.2.1 Índice de consistência

A quantidade de água necessária para as argamassas com a utilização de utilização de cinza da casca do arroz, está diretamente relacionada com o percentual de CCA utilizado e conseqüentemente da superfície específica e formas das partículas (DAL MOLIN et al., 2004 apud SOUZA, 2008). Assim, inicialmente foi realizado ensaio para determinar o índice de consistência, utilizando-se para isso, o

procedimento prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005). Para este ensaio foi utilizada a mesa de consistência, também conhecida como *flow table*, para proporcionar o espalhamento da argamassa quando está localizada sobre o tampo através do acionamento da manivela, de modo que a mesa suba e caia 30 vezes, uma queda por segundo de maneira uniforme.

A quantidade de água (a/c), dos diferentes traços, foram obtidas de modo a obter uma consistência da argamassa com o valor compreendido entre (255 ± 10) mm, ou seja, fixou-se o índice de consistência da argamassa a ser atingida e não a quantidade de água. Então, a quantidade de água para cada tipologia de argamassa variou de forma a obter-se a consistência de (255 ± 10) mm.

A Figura 4 mostra o ensaio de consistência da argamassa após abatimento na mesa de consistência, realizada conforme as recomendações prescritas em norma.

Figura 4 – Medida da consistência



Fonte: Elaboração própria

3.2.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado

O ensaio de teor de ar incorporado foi determinado conforme os procedimentos estabelecidos pela NBR 13278: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado (ABNT, 2005). Esta mesma norma estabelece o método para determinação da densidade de massa e o teor de ar incorporado em argamassas no estado fresco, destinadas ao assentamento e revestimento de

paredes e tetos.

Para encontrar o teor de ar incorporado, foi necessário calcular a densidade de massa da argamassa no seu estado fresco considerando o volume de vazios e a densidade de massa teórica da argamassa sem vazios.

3.3 Caracterização das argamassas no estado endurecido

3.3.1 Moldagem e cura dos corpos de prova

Para a realização dos ensaios mecânicos foram utilizados moldes prismáticos metálicos com as seguintes dimensões de 4,0x4,0x16,0cm, e que formam três compartimentos acoplados, servindo de moldes para três corpos de prova.

Para cada tipologia de traços, das duas argamassas (assentamento e revestimento), foram moldados 6 (seis) corpos de prova, ou seja, totalizando 60 (sessenta) corpos de prova, sendo 30 (trinta) corpos-de-prova de argamassa de assentamento e 30 (trinta) corpos-de-prova de argamassa de revestimento

O adensamento da argamassa nos moldes foi realizado mecanicamente através do equipamento da marca ERCA mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Equipamento mecânico



Fonte: Elaboração própria

Inicialmente foi colocada a primeira camada até a metade da fôrma de argamassa e então aplicado 30 (trinta) golpes, depois se completou com argamassa

o restante do molde e assim, aplicando-se mais 30 golpes, conforme mostra a Figura 6.

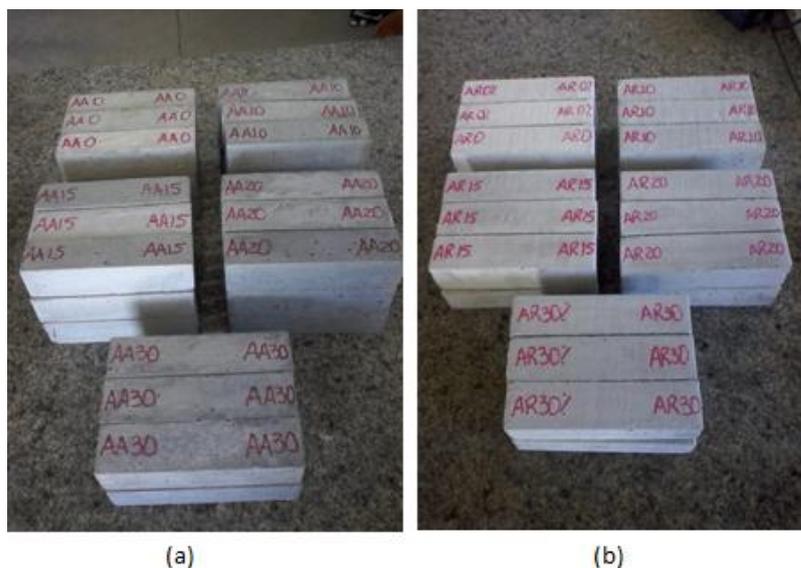
Figura 6 – Moldagem dos corpos de prova Prismáticos



Fonte: Elaboração própria

A desmoldagem dos corpos-de-prova prismático foi realizada após 48 horas para garantir resistência suficiente da argamassa para não danificá-los. Posteriormente foram deixados em temperatura ambiente até as datas de ensaio. Em seguida a Figura 7 mostra as imagens dos corpos-de-prova das argamassas de assentamento e de revestimento após desmoldadas e identificadas para realização dos ensaios, a Figura 7 (a) representa as argamassas de assentamento e a Figura 7 (b) argamassas de revestimento.

Figura 7 – Corpos de prova



(a)

(b)

Fonte: Elaboração própria

3.3.2 Determinação do módulo de elasticidade dinâmico

A determinação do módulo de elasticidade dinâmico foi determinada por ensaio de emissão de pulso elétrico de baixa frequência ultrassônica conforme as recomendações da NBR 15630 (ABNT, 2009), utilizando um aparelho ultrassônico com transdutores de 54 kHz e com leitura de forma direta vide Figura 8.

Figura 8 – Ensaio para determinação do módulo de elasticidade dinâmico



Fonte: Elaboração própria

Segundo a NBR 15630 (ABNT, 2008) versão corrigida 2009, o módulo de elasticidade dinâmico foi realizado através da Equação 01, que relaciona a massa volumétrica da argamassa (ρ), a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas (V), com o módulo de elasticidade dinâmico (E_d). Adotou-se o valor de 0,2 para o coeficiente de Poisson (ν)

$$E_d = \frac{\rho V^2 (1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (01)$$

Onde,

E_d = módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

ρ = densidade do corpo de prova (kg/m^3)

V = velocidade de pulso; onda ultrassônica ($\text{mm}/\mu\text{s}$)

ν = coeficiente de Poisson

A velocidade de pulso, ou seja, a onda ultrassônica foi obtida utilizando-se a Equação 02.

$$V = \frac{d}{t} \quad (02)$$

Onde,

V = velocidade de propagação (mm/ μ s)

d = distância entre os pontos de acoplamento dos centros das faces dos transdutores (mm)

t = tempo decorrido desde a emissão da onda até a sua recepção (μ s)

3.3.3 Resistência à tração na flexão e à compressão

Para determinar a resistência à tração na flexão e à compressão dos corpos de prova, foram moldados 6 (seis) corpos de prova para cada traço das duas argamassas (assentamento e revestimento) com dimensões de 4,0x4,0x16,0 cm, realizados de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 13279 (ABNT, 2005).

Para a realização do ensaio, iniciou-se, com a determinação da resistência dos corpos de prova submetidos aos ensaios à tração na flexão. Os corpos de prova são posicionados nos dispositivos de apoio e então submetidos à ruptura, como mostra a Figura 9 (a).

Figura 9 – Ensaio de Resistência das argamassas



Após serem determinadas das resistências à tração na flexão dos corpos de

prova, ou seja, com as duas metades dos corpos-de-prova “rompidos” no ensaio anterior, passou-se a determinação da resistência à compressão, para isso, foram utilizadas as metades dos corpos de prova do ensaio de tração na flexão, posicionando o corpo-de-prova no dispositivo de apoios, como mostra a Figura 9 (b). O ensaio seguiu os procedimentos dados pela NBR 13279 (ABNT, 2005).

3.4 Execução dos prismas de dois blocos

Foram confeccionados prismas de duas fiadas, os mesmos foram executados com dois tipos de bloco cerâmico, o bloco estrutural e bloco de vedação, com argamassa de assentamento total, na qual toda seção transversal do bloco é preenchida, como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Argamassa de assentamento total do bloco



Fonte: Elaboração própria

Para o assentamento dos blocos, tanto estrutural como o de vedação, foram realizados (5) cinco traços de argamassa, sendo (1) um de referência e (4) quatro com porcentagens de CCA. Então, foram executados 2 (dois) prismas de 2 (dois) blocos por traço para cada tipo de bloco (estrutural e vedação), totalizando 20 prismas.

Os prismas foram executados por um mesmo profissional, de modo a minimizar essa variável no desempenho dos ensaios. Durante a moldagem a

espessura das juntas de argamassa mantiveram-se na ordem de 10mm, com variação de mais ou menos 3 (três) mm, pois tal recomendação esta prescrita pela NBR 8215 (ABNT, 1983), conforme demonstra a Figura 11.

Figura 11 – Prismas de dois blocos recém moldados



Fonte: Elaboração própria

Os prismas recém-moldados com argamassa de assentamento foram colocados em local reservado até obter resistência suficiente para não causar fissuras nas juntas. Após este tempo em descanso em temperatura ambiente, os prismas foram capeados (camada regularizadora) com argamassa de cimento e areia no traço de 1:1. A espessura do capeamento superficial em ambas as faces foi de 3,0mm, conforme ilustração na Figura 12.

Figura 12 – Capeamento dos prismas de dois blocos



(a)

(b)

3.4.1 Resistência à compressão dos prismas

Os ensaios de resistência à compressão dos prismas foram realizados as 28 dias, seguindo as especificações pela NBR 8215 (ABNT, 1983). Este ensaio foi realizado para avaliar a capacidade de resistência das alvenarias assentadas com argamassa com substituição parcial de CCA. A Figura 13 mostra o ensaio de compressão dos prismas.

Figura 13 – Rupturas dos prismas de dois blocos



Fonte: Elaboração própria

3.5 Execução de argamassa de revestimentos na interface dos blocos

Foram confeccionadas argamassas sem e com a dição parcial de CCA assentadas na face lateral nos blocos estruturais e de vedação, conforme ilustra a Figura 14. O procedimento da mistura das diferentes argamassas foi realizado de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996).

Figura 14 – Revestimento do bloco



Fonte: Elaboração própria

O revestimento do bloco (estrutural e de vedação) sem e com adição parcial de CCA foi revestido 1 (um) bloco para cada tipologia de traço, totalizando 10 (dez) blocos cerâmicos revestidos, sendo 5 (cinco) estrutural e 5 (cinco) de vedação.

Os blocos foram revestidos por um mesmo profissional, para diminuir os defeitos inerentes à variação na mão de obra. Estabeleceu-se uma espessura de 20 mm para este revestimento.

3.5.1 Absorção de água pelo método do cachimbo

Para a verificação da permeabilidade e absorção de água foi utilizado o ensaio de absorção de água pelo Método do Cachimbo, ensaio este não normalizado no Brasil. O procedimento de ensaio é proposto *pelo Centre Scientifique ET Technique de laConstruction CSTC*.

A Figura 15 ilustra o “cachimbo de vidro” para a realização deste ensaio.

Figura 15 – Cachimbo de vidro



Fonte: Elaboração própria

O ensaio foi realizado com três cachimbos em cada bloco na idade de 21 dias. Os cachimbos foram fixados com cola silicone e massa de modelar, com medidas realizadas a cada minuto até completar 15 minutos ou 4ml de absorção de água. A Figura 16 ilustra a execução do ensaio.

Figura 16 – Execução do ensaio



Fonte: Elaboração própria

3.5.2 Resistência de aderência à tração

Para a verificação da resistência de aderência à tração, o procedimento seguido foi de acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010) que permite a verificação direta da carga necessária ao arrancamento de uma porção definida de argamassa, obtida pelo corte até o substrato, realizada com uma coroa industrial diamantada de 49,5mm. A figura 17 mostra o aparelho de arrancamento para a realização do ensaio. Para o referente ensaio foi definido o número de 6 (seis) corpos de prova por bloco, totalizando um total de 60 corpos de prova.

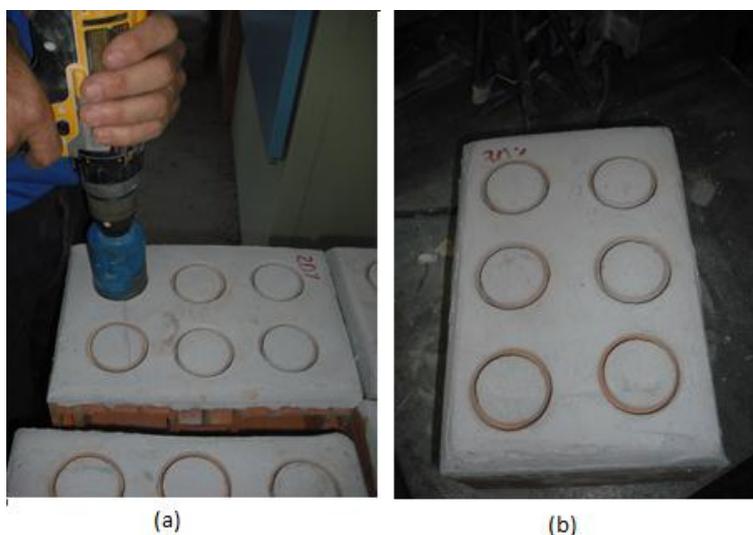
Figura 17 – Aparelho de arrancamento



Fonte: Elaboração própria

A Figura 18 ilustra a preparação do corte das argamassas.

Figura 18 – Corpos de prova para ensaio



Capítulo 4

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os dados obtidos nos ensaios experimentais, quanto ao comportamento de argamassas sem e com adições parciais de CCA, tanto no seu estado fresco, como no estado endurecido e, ainda, quanto ao comportamento das argamassas de revestimento.

4.1 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

4.1.1 Índice de Consistência

Para a determinação do índice de consistência para os diferentes traços a quantidade de água, ou seja, a relação água/cimento foi obtido quando da obtenção da consistência pré-estabelecida em $(255 \pm 10 \text{ mm})$, sendo esta realizada de acordo com o ensaio de índice de consistência prescrita pela NBR 13276 (ABNT, 2002).

Assim, após realização do ensaio obteve-se as quantidades de água em relação a cada tipo de traço de argamassa (assentamento e revestimento). Então, as Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados da relação água/cimento e o índice de consistência das argamassas de assentamento e revestimento, respectivamente.

Analisando os resultados obtidos nas Tabelas 9 e 10, observa-se que a quantidade de água requerida aumenta conforme se aumenta a porcentagem da substituição parcial de cimento por CCA, ou seja, ocorre, claramente, o aumento na quantidade de água, para manter o índice de consistência desejado em $(255 \pm 10 \text{ mm})$.

Sabe-se que a granulometria da CCA é inferior aos grãos do cimento, conseqüentemente, maior superfície específica dos materiais aglomerante, acarretando maior quantidade de água necessária para manter o mesmo abatimento.

Tabela 9 – Argamassa de assentamento: relação a/c e índice de consistência

| Traços (ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO) | Relação a/c | Índice de consistência (mm) |
|---|----------------|--------------------------------|
| TRAÇO 0% = 100% CIMENTO (TRAÇO REFERÊNCIA) | 0,65 | 253 |
| TRAÇO 10% CCA = 90% CIMENTO + 10% CCA | 0,65 | 251 |
| TRAÇO 15% CCA = 85% CIMENTO + 15% CCA | 0,66 | 255 |
| TRAÇO 20% CCA = 80% CIMENTO + 20% CCA | 0,67 | 258 |
| TRAÇO 30% CCA = 70% CIMENTO + 30% CCA | 0,68 | 260 |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 10 – Argamassa de revestimento: relação a/c e índice de consistência

| Traços (ARGAMASSA DE REVESTIMENTO) | Relação a/c | Índice de consistência (mm) |
|---|----------------|--------------------------------|
| TRAÇO 0% = 100% CIMENTO (TRAÇO REFERÊNCIA) | 2 | 261 |
| TRAÇO 10% CCA = 90% CIMENTO + 10% CCA | 2 | 260 |
| TRAÇO 15% CCA = 85% CIMENTO + 15% CCA | 2,1 | 259 |
| TRAÇO 20% CCA = 80% CIMENTO + 20% CCA | 2,13 | 256 |
| TRAÇO 30% CCA = 70% CIMENTO + 30% CCA | 2,17 | 250 |

Fonte: Elaboração própria.

4.1.2 Densidade de massa e Teor de ar incorporado

Os resultados da densidade de massa e do teor de ar incorporado para cada tipologia de argamassa estão apresentados na Tabela 11 e 12, respectivamente, obtidos no estado fresco.

Tabela 11 – Densidade de massa da Argamassa de Assentamento

| Argamassa | AA0 | AA10 | AA15 | AA20 | AA30 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Densidade de massa (g/cm ³) | 2,182 | 2,182 | 2,177 | 2,171 | 2,166 |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 12 – Densidade de massa da Argamassa de Revestimento

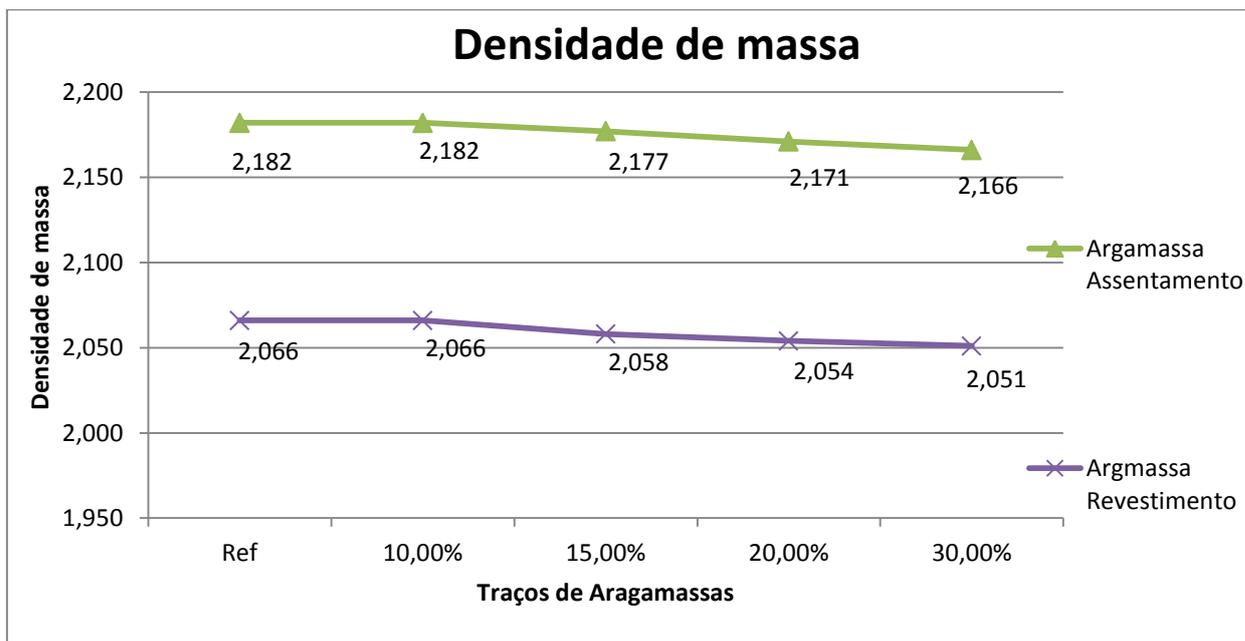
| Argamassa | AR0 | AR10 | AR15 | AR20 | AR30 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Densidade de massa (g/cm ³) | 2,066 | 2,066 | 2,058 | 2,054 | 2,051 |

Fonte: Elaboração própria.

Analisando as Tabelas 11 e 12 verifica-se que ocorre uma diminuição no valor da densidade de massa para ambas as argamassas (assentamento e revestimento). No entanto, observa-se que esta diminuição de massa ocorre de forma mais acentuada na argamassa de assentamento, e de forma bem menos perceptível na argamassa de revestimento. Lembrando que o traço da argamassa de assentamento é 1:3 (cimento:areia) e a argamassa de revestimento contém a cal no traço, sendo de 1:2:8 (cimento:cal:areia), a densidade de massa fica menos evidenciada em mistura com a argamassa que contém a cal, esta tendo a granulometria mais fina que o cimento, a CCA não preenche os vazios deixados pelo cimento, pois este já estão preenchidos com a cal (argamassa de revestimento).

O Gráfico 1 compara ambos os dados da densidade de massa das argamassas de assentamento e de revestimento, distribuídos em um histograma, para melhor ilustrar os resultados.

Gráfico 1 - Densidade de massa das argamassas de assentamento e revestimento



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados obtidos para o teor de ar incorporado das argamassas de Assentamento e de Revestimento estão apresentados na Tabela 13 e 14, respectivamente.

Tabela 13 – Teor de ar incorporado da argamassa de assentamento

| Argamassa | AA0 | AA10 | AA15 | AA20 | AA30 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| Teor de Ar Incorporado (%) | 6,90 | 7,46 | 7,51 | 7,28 | 7,69 |

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 14 – Teor de ar incorporado da argamassa de revestimento

| Argamassa | AR0 | AR10 | AR15 | AR20 | AR30 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| Teor de Ar Incorporado (%) | 4,02 | 4,19 | 4,61 | 4,49 | 4,88 |

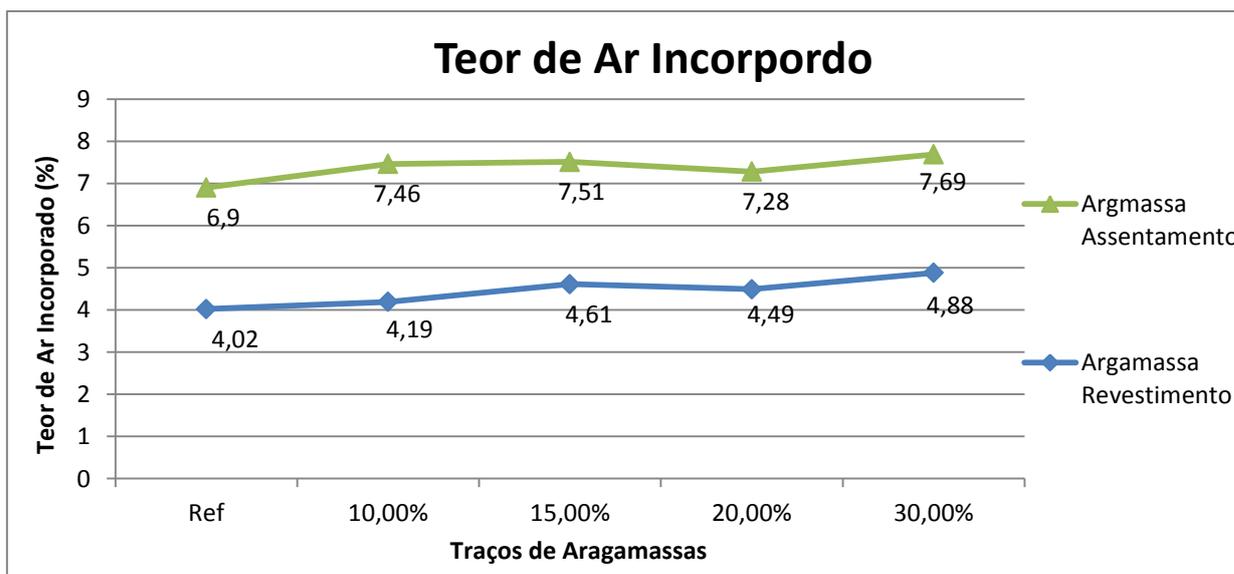
Fonte: Elaboração própria.

De acordo com resultados obtidos nas Tabelas 13 e 14, nota-se que para ambas as argamassas de assentamento e de revestimento, ao incorporar maior quantidade de CCA na substituição com o cimento, maiores foram os valores de teor de ar incorporado, ou seja, quanto maior a quantidade de CCA na massa da argamassa, maiores quantidade de ar que se incorpora. Tal fato deve-se pelo aumento da quantidade de água adicionada na massa das argamassas para manter o índice de consistência estabelecida em (255 ± 10) mm.

Quando se relacionam os dois tipos de argamassas, observa-se que as argamassas de assentamento apresentaram maiores percentuais de teor de ar incorporado que as argamassas de revestimento.

O Gráfico 2 mostra os dados do teor de ar incorporado das argamassas de assentamento e de revestimento, distribuídos em um histograma.

Gráfico 2 – Teor de ar incorporado das argamassas de assentamento e revestimento



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados obtidos nessas duas propriedades das argamassas confirmaram que existe uma relação inversamente proporcional entre a densidade de massa e o teor de ar incorporado, pois, quanto menor a densidade de massa, maior o teor de ar incorporado.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2001), que classifica as argamassas conforme o valor do teor de ar incorporado pode-se verificar que tanto as

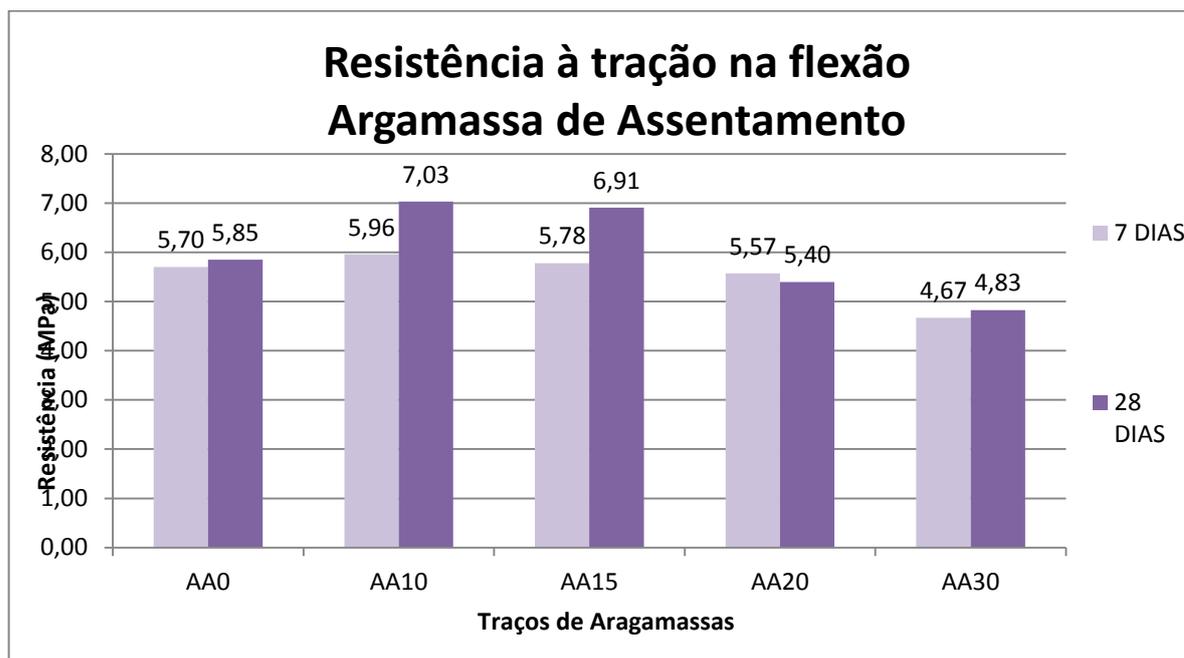
argamassas de assentamento quanto a de revestimento, estão classificadas como sendo do tipo A, ou seja, apresentam teor de ar incorporado < 8,0.

4.2 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

4.2.1 Resistência à tração na flexão

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão da argamassa de assentamento (1:3) de referência (sem adição de CCA) e com adição parcial de CCA, nas proporções de 10%, 15%, 20 e 30%, estão apresentados no Gráfico 3. Já os resultados do ensaio para argamassa de revestimento (1:2:8) sem e com CCA podem ser visualizados no Gráfico 4. Para ambas as argamassas foram realizados ensaios nas idades de 7 e 28 dias.

Gráfico 3- Resistência à tração na flexão das argamassas de assentamento



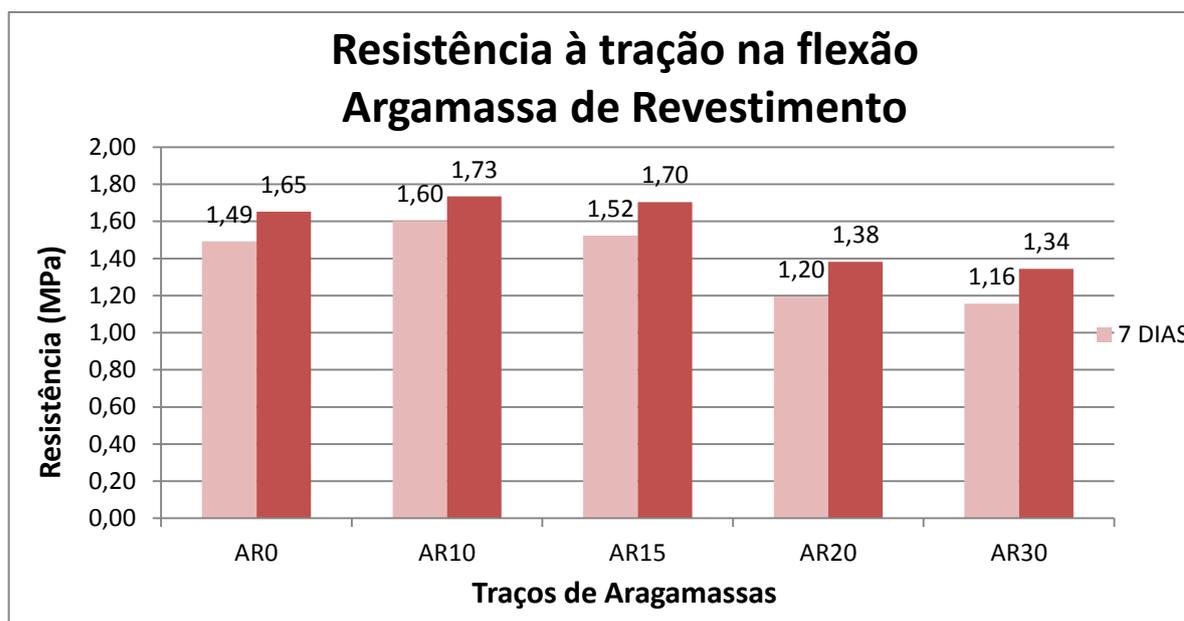
Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar a resistência à tração na flexão obtida para as argamassas de assentamento, no Gráfico 3, é possível observar que os traços de 10% e 15% de CCA obtiveram resultados superiores ao traço de referência e um decréscimo de resistência nos traços de 20% e 30% de CCA. No entanto, de acordo com outros autores, pode ocorrer aumento da resistência para idades mais elevadas, pois se

acredita que a porcentagem de 20% e 30% ainda não houve tempo suficiente para que ocorresse a hidratação na massa das argamassas.

Analisando o Gráfico 4, é possível observar que as argamassas com 10% e 15% de CCA obtiveram resultados superiores a argamassa de referência e um decréscimo de resistência nas argamassas de 20% e 30%, fato ocorrido igualmente com as argamassas de assentamento.

Gráfico 4 – Resistência à tração na flexão das argamassas de revestimento



Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 Resistência à compressão simples

Os resultados do ensaio de resistência à compressão da argamassa de assentamento (1:3) de referência (sem adição de CCA) e com adição parcial de CCA, nas proporções de 10%, 15%, 20 e 30%, estão apresentados no Gráfico 5. Já os resultados do ensaio para argamassa de revestimento (1:2:8), sem e com CCA, estão no Gráfico 6. Para ambas as argamassas foram realizados ensaios nas idades de 7 e 28 dias.

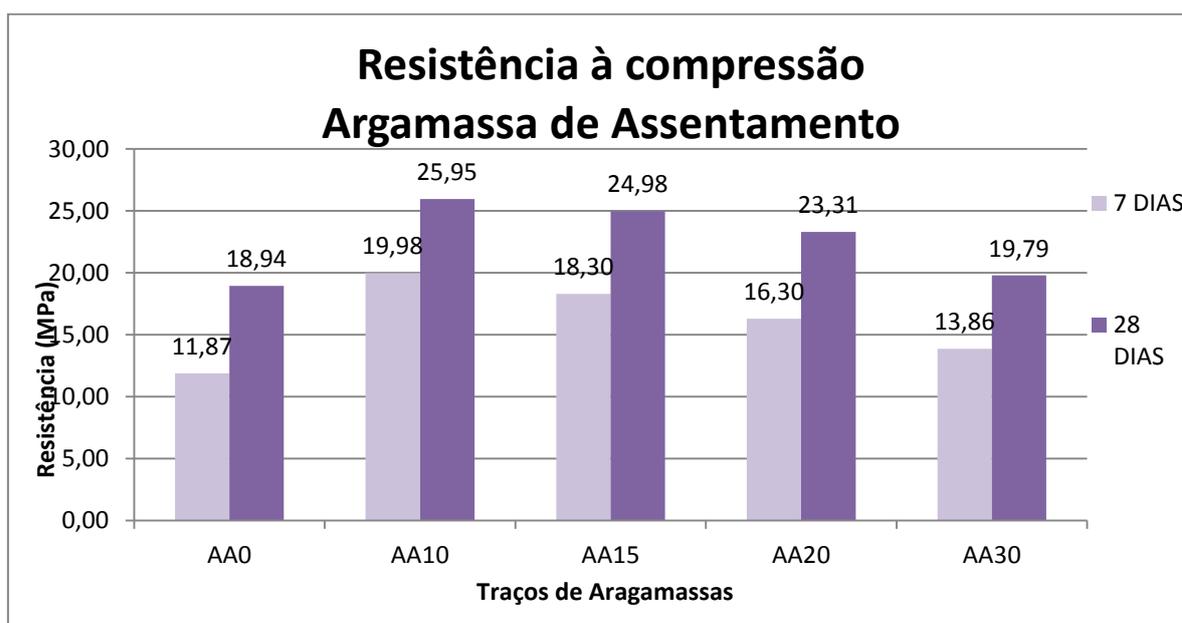
Ao analisar a resistência à compressão simples obtida para as argamassas de assentamento, no Gráfico 5, é possível observar que há um aumento

considerável da resistência para todas as argamassas em relação às idades estudadas.

Segundo Malhota e Metha (1996) apud Souza (2008), esta ocorrência pode ser justificada pelo fato de haver preenchimento dos vazios da argamassa, quando há incorporação de resíduos, aumentando o empacotamento das partículas e diminuindo, conseqüentemente, os vazios, favorecendo, positivamente, a resistência a compressão simples.

As argamassas com porcentuais de cinza apresentaram melhor desempenho mecânico para as duas idades estudadas em relação à argamassa de referência, sendo que a argamassa de 10% de CCA obteve o maior valor de resistência à compressão simples nas idades estudadas.

Gráfico 5 - Resistência à compressão das argamassas de assentamento



Fonte: Elaboração própria.

Diferentemente de alguns autores, como Tiboni (2007), Souza (2008), dentre outros, que utilizaram a cinza da casca do arroz em argamassas e concretos, a cinza utilizada nesta pesquisa apresentou, já aos 28 dias, desempenho mecânico superior ao das argamassas de referência (sem CCA).

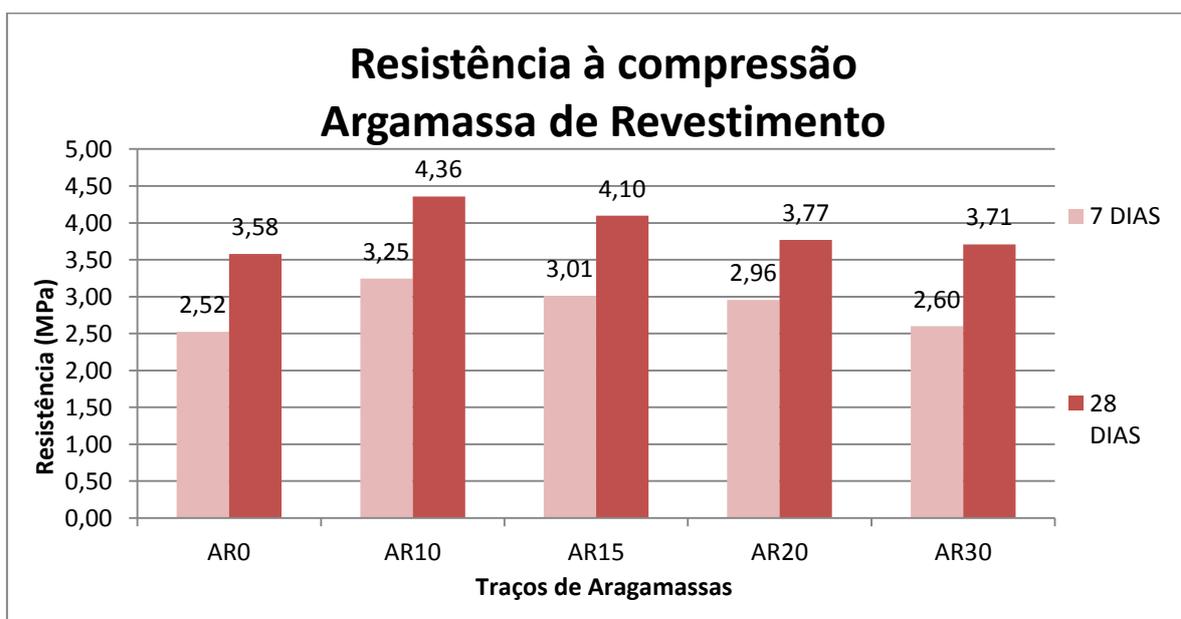
Conforme Tiboni (2007), um dos fatores que propicia um aumento na resistência a compressão simples de argamassas é o fato de haver uma melhoria na

zona de transição, pois, com a utilização de sílicas ativas há uma diminuição da quantidade de cristais decorrentes do cálcio, dos espaços vazios e aumento da adesividade pasta-agregado.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2001) que classifica as argamassas conforme o valor da resistência à compressão simples, pode-se verificar que todas as argamassas de assentamento estão classificadas como sendo do tipo III, que estabelece um intervalo de > 8,0MPa, aos 28 dias de cura.

Ao analisar a resistência à compressão simples obtida para as argamassas de revestimento, no Gráfico 6, é possível observar que há um aumento da resistência em relação às idades estudadas.

Gráfico 6 - Resistência à compressão das argamassas de revestimento



Fonte: Elaboração própria.

As argamassas com porcentuais de cinza apresentaram melhor desempenho mecânico para as duas idades estudadas em relação à argamassa de referência, sendo a argamassa de 10% de CCA que obteve o maior valor de resistência à compressão simples nas idades estudadas, mesmo comportamento que ocorreu nas argamassas de assentamento.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2001), que classifica as argamassas conforme o valor da resistência à compressão simples, pode-se verificar que as argamassas com 10% e 15% com CCA estão classificadas como sendo do tipo padrão II, que estabelece um intervalo de $4,0 \text{ MPa} \leq \text{RCS} \leq 8,0 \text{ MPa}$, aos 28 dias de cura, e para a argamassa de referência e com 20% e 30% de CCA estão classificadas como sendo do tipo padrão I, que estabelece um intervalo de $0,1 \text{ MPa} \leq \text{RCS} < 4,0 \text{ MPa}$, aos 28 dias de cura.

Todos os valores obtidos, tanto para a argamassa convencional, como os com CCA, obedecem à prescrição da NBR 13281 (ABNT, 2001), podendo, então, confirmar a viabilidade da utilização da CCA em argamassas quanto ao desempenho mecânico das argamassas.

4.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico

Foi determinado o módulo de elasticidade dinâmico nos corpos de prova prismático de argamassa através de emissão de pulso elétrico de baixa frequência ultrassônica, conforme o procedimento estabelecido pela NBR 15630 (ABNT, 2009).

No ensaio é possível determinar a leitura do tempo em microssegundos, que a onda ultrassônica leva para ultrapassar o corpo de prova. Através deste tempo obtido é possível determinar a velocidade em milímetros por microssegundos.

Nas Tabelas 15 e 16 estão apresentados os valores médios obtidos nos corpos de prova de argamassa de referência e com substituições parciais de CCA relativos à densidade de massa aparente (ρ) e módulo de elasticidade (E_d).

Tabela 15 – Módulo de elasticidade dinâmico para argamassas de assentamento

| Material | Densidade média de massa aparente (Kg/m^3) | Média Módulo de elasticidade dinâmico (E_d) |
|----------|---|---|
| AA0 | 2081,48 | 30581,96 |
| AA10 | 2003,40 | 28848,94 |
| AA15 | 2128,91 | 31121,32 |
| AA20 | 2069,45 | 29949,69 |
| AA30 | 2045,59 | 26974,14 |

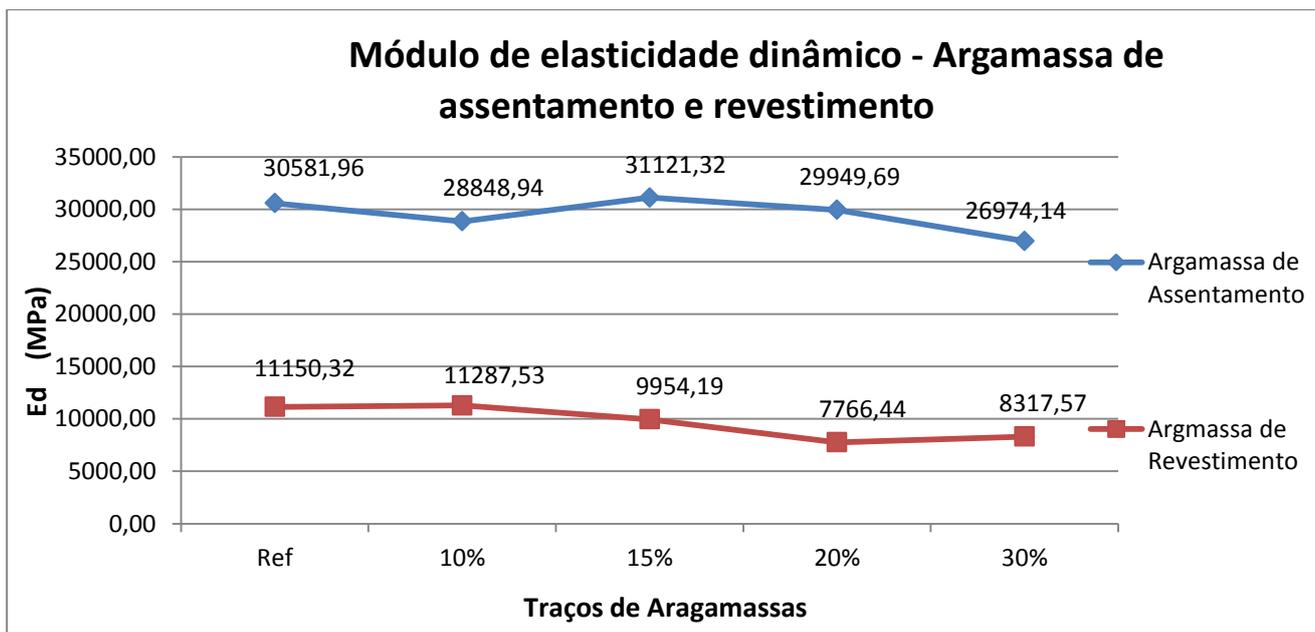
Tabela 16 – Módulo de elasticidade dinâmico para argamassas de revestimento

| Material | Densidade média de massa aparente (Kg/m ³) | Média Módulo de elasticidade dinâmico (Ed) |
|----------|--|--|
| AR0 | 1866,33 | 11150,32 |
| AR10 | 1913,71 | 11287,53 |
| AR15 | 1910,59 | 9954,19 |
| AR20 | 1825,98 | 7766,44 |
| AR30 | 1892,30 | 8317,57 |

Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 7 mostra os dados do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas de assentamento e de revestimento, para melhor visualização.

Gráfico 7 – Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas



Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar o módulo de elasticidade obtido nas argamassas de assentamento e de revestimento, no Gráfico 7, é possível observar que de maneira geral, a adição de CCA diminuiu o módulo de elasticidade dinâmico das argamassas, com exceção da argamassa de assentamento com 15% de CCA.

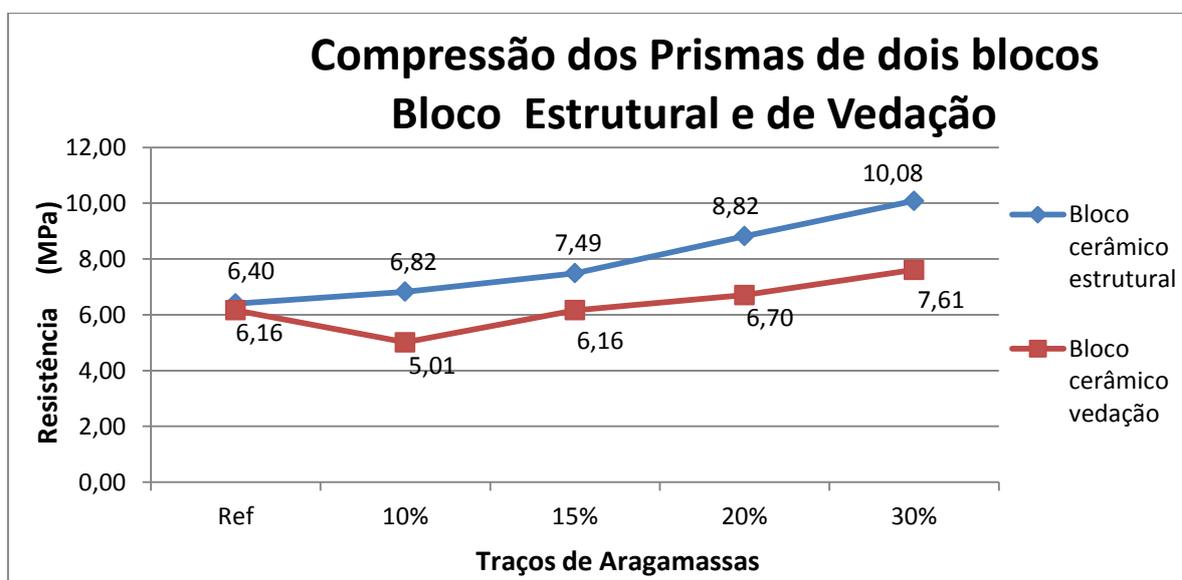
Como base em estudo, o módulo de elasticidade representa a relação tensão /

deformação. Portanto, quanto menor o módulo de elasticidade da argamassa maior a sua capacidade de absorver deformações.

4.3 COMPRESSÃO DOS PRISMAS DE 2 BLOCOS

No Gráfico 8 estão apresentados os resultados obtidos para a resistência à compressão dos prismas de dois blocos moldados com argamassa de referência e com a cinza da casca de arroz como substituição parcial do cimento, nos percentuais de 10%, 15%, 20% e 30% na idade de 28 dias.

Gráfico 8 – Resistência à compressão dos prismas de dois blocos



Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar a resistência à compressão simples obtida para os prismas de dois blocos, no Gráfico 8, é possível observar que os prismas moldados com argamassas modificadas com cinza, com exceção do prisma de bloco de vedação moldado com argamassa de 10% de CCA, obtiveram resistências superiores quando comparadas aos prismas de referência.

Os prismas apresentaram uma ruptura explosiva, com rompimento súbito, principalmente os prismas moldados com argamassa modificada. Este comportamento pode ter ocorrido pelo fato das argamassas que os prismas foram

moldados obtiveram resistências superiores, bem significativas, em relação à resistência dos blocos, com isso, houve a ruptura do bloco e não da argamassa. A Figura 19 ilustra algumas rupturas onde, ocorre a ruptura do bloco e a argamassa se apresenta sem nenhuma ruptura.

Figura 19 – Rupturas dos prismas



Fonte: Elaboração própria.

As rupturas dos prismas em geral apresentaram deslocamento do bloco, fissuração vertical e esmagamento da argamassa, pode ter ocorrido esses tipos de ruptura, pela aderência entre os elementos (argamassa/bloco), impedindo a argamassa de se deformar. O esmagamento localizado da argamassa e o deslocamento dos blocos ocorreram devido à concentração de tensão onde, a mesma, pode ter sido provocada pela falta de nivelamento no momento da moldagem e na execução do capeamento. Alguns modelos de rupturas podem ser visualizados na Figura 20. Na parte “a” verifica-se fissuração vertical, na parte “b” é possível visualizar o deslocamento do bloco e na parte “c” esmagamento localizado da argamassa.

Figura 20 – Rupturas dos prismas



Fonte: Elaboração própria.

4.4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

4.4.1 Absorção de água pelo método do cachimbo

Foi determinada a absorção de água pelo método de cachimbo, onde os respectivos resultados estão apresentados a seguir, na forma de tabelas, e para melhor visualização, apresentados em gráficos.

Tabela 17 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa de Referência

| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,167 | 3,833 |
| 2 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,300 | 3,700 |
| 3 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,533 | 3,467 |
| 4 | 0,8 | 1 | 0,6 | 0,800 | 3,200 |
| 5 | 1 | 1,2 | 0,8 | 1,00 | 3,000 |
| 6 | 1,2 | 1,5 | 1 | 1,233 | 2,767 |
| 7 | 1,5 | 1,7 | 1,1 | 1,433 | 2,567 |
| 8 | 1,9 | 2 | 1,4 | 1,767 | 2,233 |
| 9 | 2 | 2,3 | 1,6 | 1,967 | 2,033 |
| 10 | 2 | 2,4 | 1,7 | 2,033 | 1,967 |
| 11 | 2,2 | 2,7 | 2 | 2,300 | 1,700 |
| 12 | 2,4 | 2,9 | 2,2 | 2,500 | 1,500 |
| 13 | 2,6 | 3,2 | 2,4 | 2,733 | 1,267 |
| 14 | 2,8 | 3,4 | 2,5 | 2,900 | 1,100 |
| 15 | 3 | 3,6 | 2,8 | 3,133 | 0,867 |

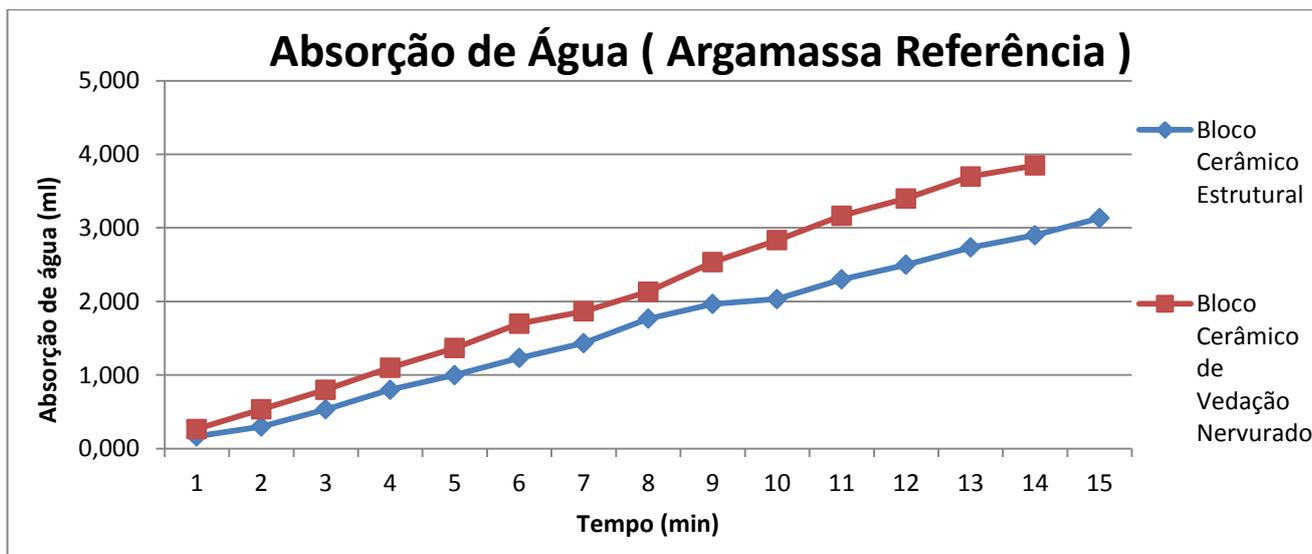
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 18 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de Referência

| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,267 | 3,733 |
| 2 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,533 | 3,467 |
| 3 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,800 | 3,200 |
| 4 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,100 | 2,900 |
| 5 | 1,2 | 1,5 | 1,4 | 1,37 | 2,633 |
| 6 | 1,6 | 1,7 | 1,8 | 1,700 | 2,300 |
| 7 | 1,8 | 1,85 | 1,95 | 1,867 | 2,133 |
| 8 | 2,1 | 2 | 2,3 | 2,133 | 1,867 |
| 9 | 2,5 | 2,5 | 2,6 | 2,533 | 1,467 |
| 10 | 2,7 | 2,8 | 3 | 2,833 | 1,167 |
| 11 | 3 | 3,1 | 3,4 | 3,167 | 0,833 |
| 12 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,400 | 0,600 |
| 13 | 3,5 | 3,7 | 3,9 | 3,700 | 0,300 |
| 14 | 3,7 | 4 | - | 3,850 | 0,150 |
| 15 | - | - | - | 0,000 | 0,000 |

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 9 – Absorção de água para argamassa de referência



Fonte: Elaboração própria.

Pode-se observar, nas Tabelas 17 e 18, que a argamassa de referência com o traço 1:2:8 que o substrato com bloco cerâmico de vedação obteve uma absorção acentuada ultrapassando o substrato com bloco cerâmico estrutural. Este comportamento pode ter ocorrido pelo fato de que o substrato não recebeu uma camada de chapisco, deixando, assim, uma grande superfície de absorção. No Gráfico 9 pode-se visualizar melhor o comportamento ao longo do tempo para os dois substratos, onde apresentaram um comportamento linear durante todo o período.

Este comportamento se repete para as outras argamassas com substituições parciais de CCA, onde pode-se observar nas tabelas e gráficos a seguir.

Tabela 19 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa 10% CCA

| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,400 | 3,600 |
| 2 | 0,6 | 0,9 | 0,6 | 0,700 | 3,300 |
| 3 | 0,8 | 1,2 | 0,8 | 0,933 | 3,067 |
| 4 | 1,3 | 1,7 | 1 | 1,333 | 2,667 |
| 5 | 1,4 | 1,9 | 1,2 | 1,500 | 2,500 |
| 6 | 1,4 | 2,2 | 1,4 | 1,667 | 2,333 |
| 7 | 1,6 | 2,4 | 1,6 | 1,867 | 2,133 |
| 8 | 1,8 | 2,6 | 1,8 | 2,067 | 1,933 |
| 9 | 1,9 | 2,9 | 1,9 | 2,233 | 1,767 |
| 10 | 2 | 3,1 | 2 | 2,367 | 1,633 |
| 11 | 2,2 | 3,3 | 2,1 | 2,533 | 1,467 |
| 12 | 2,4 | 3,5 | 2,2 | 2,700 | 1,300 |
| 13 | 2,5 | 3,6 | 2,5 | 2,867 | 1,133 |
| 14 | 2,6 | 3,8 | 2,6 | 3,000 | 1,000 |
| 15 | 2,8 | 4 | 2,7 | 3,167 | 0,833 |

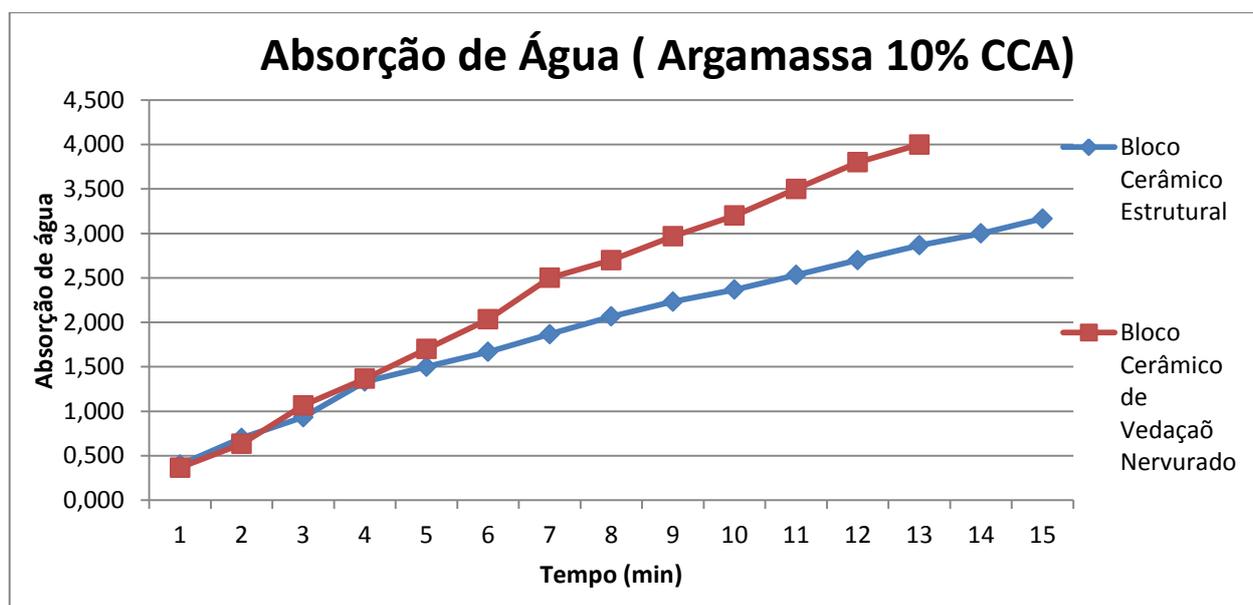
Fonte: Elaboração própria.

Tabela 20 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de 10% CCA

| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0,4 | 0,2 | 0,5 | 0,367 | 3,633 |
| 2 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,633 | 3,367 |
| 3 | 1,1 | 0,9 | 1,2 | 1,067 | 2,933 |
| 4 | 1,3 | 1,3 | 1,5 | 1,367 | 2,633 |
| 5 | 1,7 | 1,6 | 1,8 | 1,700 | 2,300 |
| 6 | 2 | 1,9 | 2,2 | 2,033 | 1,967 |
| 7 | 2,5 | 2,4 | 2,6 | 2,500 | 1,500 |
| 8 | 2,7 | 2,6 | 2,8 | 2,700 | 1,300 |
| 9 | 3 | 2,9 | 3 | 2,967 | 1,033 |
| 10 | 3,2 | 3,1 | 3,3 | 3,200 | 0,800 |
| 11 | 3,5 | 3,4 | 3,6 | 3,500 | 0,500 |
| 12 | 3,8 | 3,7 | 3,9 | 3,800 | 0,200 |
| 13 | - | 4 | - | 4,000 | 0,000 |
| 14 | - | - | - | - | - |
| 15 | - | - | - | - | - |

Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 10 – Absorção de água para argamassa de 10% CCA



Fonte: Elaboração própria.

Como se pode observar nas Tabelas 19 e 20, as argamassas com 10% de CCA, o substrato com bloco cerâmico de vedação obteve uma absorção acentuada, ultrapassando o substrato com bloco cerâmico estrutural. No Gráfico 10 pode-se visualizar melhor o comportamento ao longo do tempo para os dois substratos, onde é possível observar que o substrato com bloco de vedação absorveu toda a água aos 13 minutos diferentemente do substrato com bloco estrutural.

Tabela 21 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa de 15% CCA

| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0,1 | 0,2 | 0 | 0,100 | 3,900 |
| 2 | 0,3 | 0,5 | 0,1 | 0,300 | 3,700 |
| 3 | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 0,533 | 3,467 |
| 4 | 1,1 | 0,9 | 0,5 | 0,833 | 3,167 |
| 5 | 1,4 | 1,1 | 0,8 | 1,100 | 2,900 |
| 6 | 1,6 | 1,4 | 1 | 1,333 | 2,667 |
| 7 | 1,8 | 1,6 | 1,2 | 1,533 | 2,467 |
| 8 | 1,9 | 1,8 | 1,5 | 1,733 | 2,267 |
| 9 | 2 | 2,1 | 1,7 | 1,933 | 2,067 |
| 10 | 2,2 | 2,15 | 1,9 | 2,083 | 1,917 |
| 11 | 2,5 | 2,3 | 1,95 | 2,250 | 1,750 |
| 12 | 2,7 | 2,5 | 2,15 | 2,450 | 1,550 |
| 13 | 2,7 | 2,8 | 2,3 | 2,600 | 1,400 |
| 14 | 2,9 | 3 | 2,5 | 2,800 | 1,200 |
| 15 | 3 | 3,1 | 2,7 | 2,933 | 1,067 |

Tabela 22 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de 15% CCA

| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,100 | 3,900 |
| 2 | 0,3 | 0,5 | 0,4 | 0,400 | 3,600 |
| 3 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,600 | 3,400 |
| 4 | 0,8 | 1 | 0,9 | 0,900 | 3,100 |
| 5 | 1 | 1,2 | 1,1 | 1,100 | 2,900 |
| 6 | 1,2 | 1,5 | 1,3 | 1,333 | 2,667 |
| 7 | 1,5 | 1,6 | 1,5 | 1,533 | 2,467 |
| 8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,700 | 2,300 |
| 9 | 1,9 | 1,8 | 1,8 | 1,833 | 2,167 |
| 10 | 2,1 | 2,1 | 2 | 2,067 | 1,933 |
| 11 | 2,3 | 2,5 | 2,2 | 2,333 | 1,667 |
| 12 | 2,5 | 2,6 | 2,4 | 2,500 | 1,500 |
| 13 | 2,6 | 2,8 | 2,5 | 2,633 | 1,367 |
| 14 | 2,8 | 2,9 | 2,7 | 2,800 | 1,200 |
| 15 | 3 | 3 | 3,1 | 3,033 | 0,967 |

Para a argamassa com 15% de CCA, pode-se observar, nas Tabelas 21 e 22, que a argamassa com o substrato de bloco cerâmico estrutural e cerâmico de vedação apresentaram índices de absorção de água muito próximos. No Gráfico 11 pode-se visualizar melhor o comportamento ao longo do tempo dos dois substratos estudados.

Gráfico 11 – Absorção de água para argamassa de 15% CCA

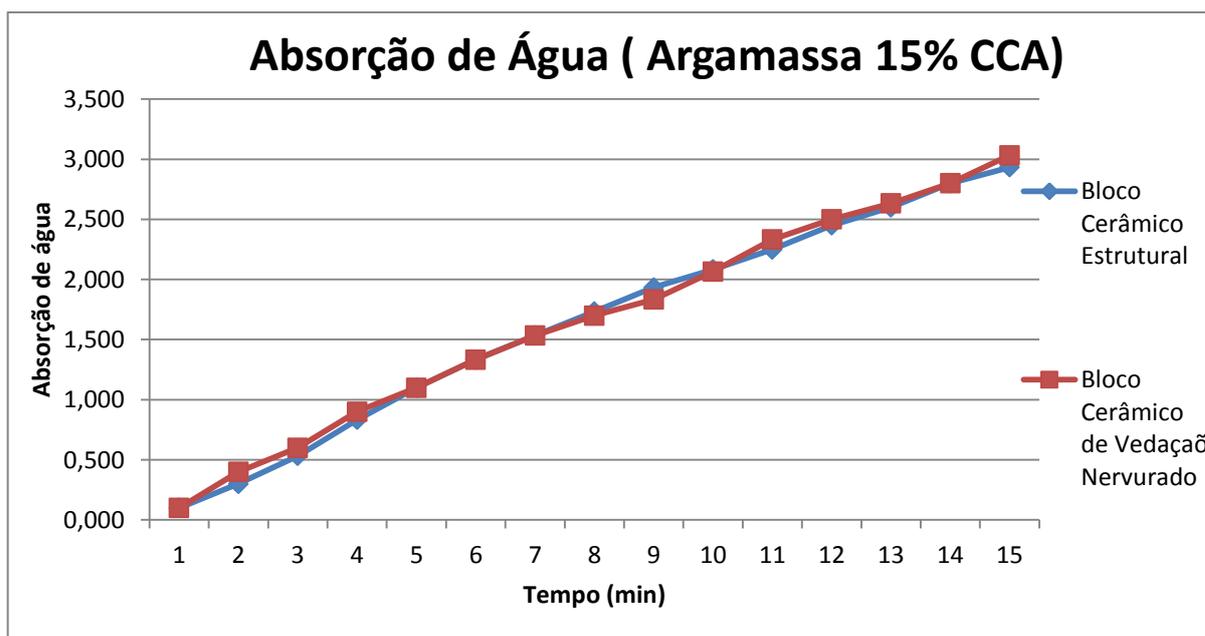


Tabela 23 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa de 20% CCA

| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,433 | 3,567 |
| 2 | 1,1 | 0,6 | 0,8 | 0,833 | 3,167 |
| 3 | 1,8 | 0,9 | 1,2 | 1,300 | 2,700 |
| 4 | 2,4 | 1,3 | 1,6 | 1,767 | 2,233 |
| 5 | 2,8 | 1,7 | 2 | 2,167 | 1,833 |
| 6 | 3,4 | 2,2 | 2,7 | 2,767 | 1,233 |
| 7 | 3,8 | 2,5 | 3,1 | 3,133 | 0,867 |
| 8 | 4 | 3 | 3,7 | 3,567 | 0,433 |
| 9 | - | 3,5 | 4 | 3,500 | 0,500 |
| 10 | - | 3,8 | - | 3,800 | 0,200 |
| 11 | - | 4 | - | 4,000 | 0,000 |
| 12 | - | - | - | - | - |
| 13 | - | - | - | - | - |
| 14 | - | - | - | - | - |
| 15 | - | - | - | - | - |

Tabela 24 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de 20% CCA

| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0,7 | 0,8 | 0,5 | 0,667 | 3,333 |
| 2 | 1,3 | 1,7 | 1 | 1,333 | 2,667 |
| 3 | 1,9 | 2,4 | 1,5 | 1,933 | 2,067 |
| 4 | 2,4 | 2,8 | 2 | 2,400 | 1,600 |
| 5 | 2,9 | 3 | 2,6 | 2,833 | 1,167 |
| 6 | 3,4 | 3,4 | 3 | 3,267 | 0,733 |
| 7 | 3,8 | 3,7 | 3,4 | 3,633 | 0,367 |
| 8 | 4 | - | 3,8 | 3,900 | 0,100 |
| 9 | - | - | 4 | 4,000 | 0,000 |
| 10 | - | - | - | - | - |
| 11 | - | - | - | - | - |
| 12 | - | - | - | - | - |
| 13 | - | - | - | - | - |
| 14 | - | - | - | - | - |
| 15 | - | - | - | - | - |

Pode-se observar, nas Tabelas 23 e 24, que a argamassa com 20% CCA, com o substrato com bloco cerâmico de vedação obteve uma absorção acentuada ultrapassando o substrato com bloco cerâmico estrutural. Também se observa pelo Gráfico 12 que a argamassa com o substrato de bloco cerâmico de vedação absorveu a água com o tempo bem menor que a argamassa com o substrato de

bloco cerâmico estrutural.

Gráfico 12 – Absorção de água para argamassa de 20% CCA

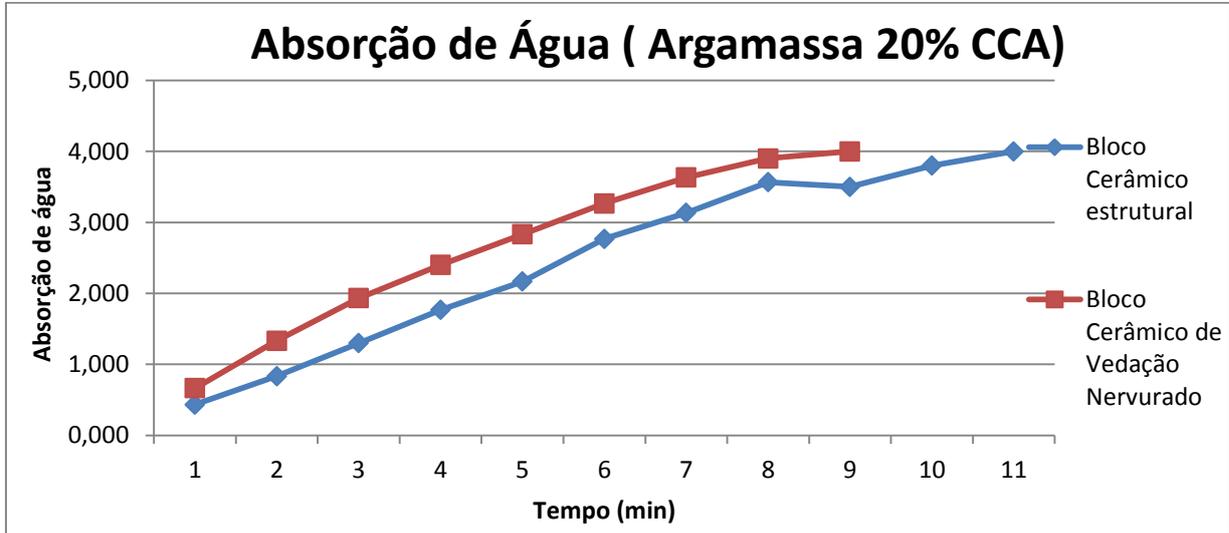


Tabela 25 – Bloco cerâmico estrutural – Argamassa de 30% CCA

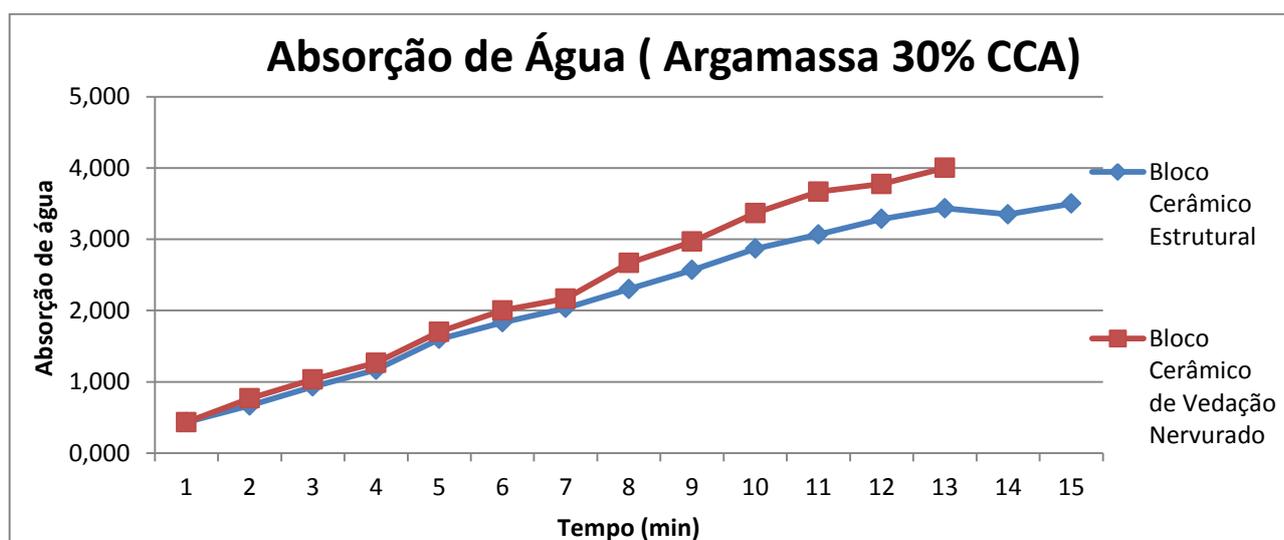
| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,433 | 3,567 |
| 2 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,667 | 3,333 |
| 3 | 1,2 | 0,8 | 0,8 | 0,933 | 3,067 |
| 4 | 1,5 | 1 | 1 | 1,167 | 2,833 |
| 5 | 1,9 | 1,4 | 1,5 | 1,600 | 2,400 |
| 6 | 2,1 | 1,6 | 1,8 | 1,833 | 2,167 |
| 7 | 2,4 | 1,8 | 1,9 | 2,033 | 1,967 |
| 8 | 2,6 | 2 | 2,3 | 2,300 | 1,700 |
| 9 | 2,9 | 2,3 | 2,5 | 2,567 | 1,433 |
| 10 | 3,4 | 2,5 | 2,7 | 2,867 | 1,133 |
| 11 | 3,6 | 2,7 | 2,9 | 3,067 | 0,933 |
| 12 | 3,9 | 2,95 | 3 | 3,283 | 0,717 |
| 13 | 4 | 3,1 | 3,2 | 3,433 | 0,567 |
| 14 | - | 3,4 | 3,3 | 3,350 | 0,650 |
| 15 | - | 3,6 | 3,4 | 3,500 | 0,500 |

Tabela 26 – Bloco cerâmico vedação – Argamassa de 30% CCA

| Tempo (min) | Coluna de água 1 (ml) | Coluna de água 2 (ml) | Coluna de água 3 (ml) | Média (ml) | Inicial (ml) |
|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------|--------------|
| 1 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,433 | 3,567 |
| 2 | 1,1 | 0,5 | 0,7 | 0,767 | 3,233 |
| 3 | 1,5 | 0,8 | 0,8 | 1,033 | 2,967 |
| 4 | 1,8 | 1 | 1 | 1,267 | 2,733 |
| 5 | 2,2 | 1,4 | 1,5 | 1,700 | 2,300 |
| 6 | 2,6 | 1,6 | 1,8 | 2,000 | 2,000 |
| 7 | 2,8 | 1,8 | 1,9 | 2,167 | 1,833 |
| 8 | 3,2 | 2,5 | 2,3 | 2,667 | 1,333 |
| 9 | 3,5 | 2,9 | 2,5 | 2,967 | 1,033 |
| 10 | 3,9 | 3,2 | 3 | 3,367 | 0,633 |
| 11 | 4 | 3,6 | 3,4 | 3,667 | 0,333 |
| 12 | - | 3,95 | 3,6 | 3,775 | 0,225 |
| 13 | - | - | 4 | 4,000 | 0,000 |
| 14 | - | - | - | - | - |
| 15 | - | - | - | - | - |

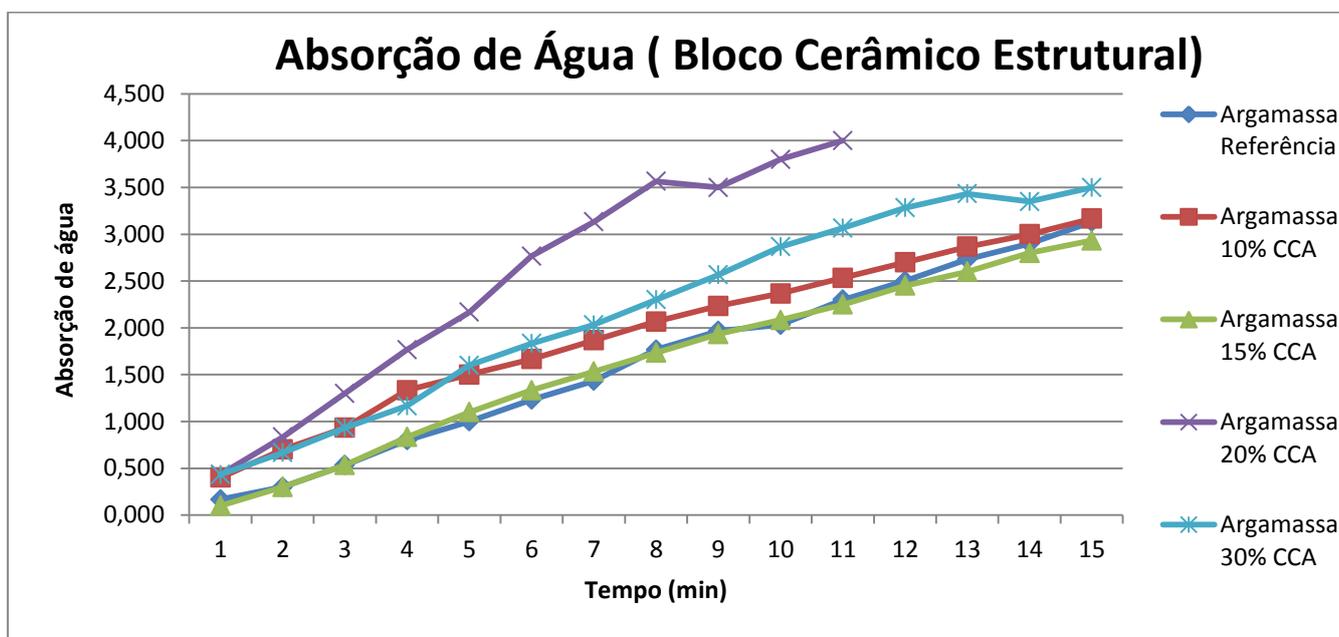
O mesmo comportamento que ocorreu para as outras argamassas aconteceu com a argamassa com substituição parcial de 30% de CCA. Assim, observa-se nas Tabelas 25 e 26, que a argamassa com o substrato de bloco cerâmico de vedação absorveu a água mais rapidamente que a argamassa com o substrato cerâmico estrutural. No Gráfico13 pode-se visualizar melhor o comportamento ao longo do tempo para os dois substratos estudados.

Gráfico 13 – Absorção de água para argamassa de 30% CCA



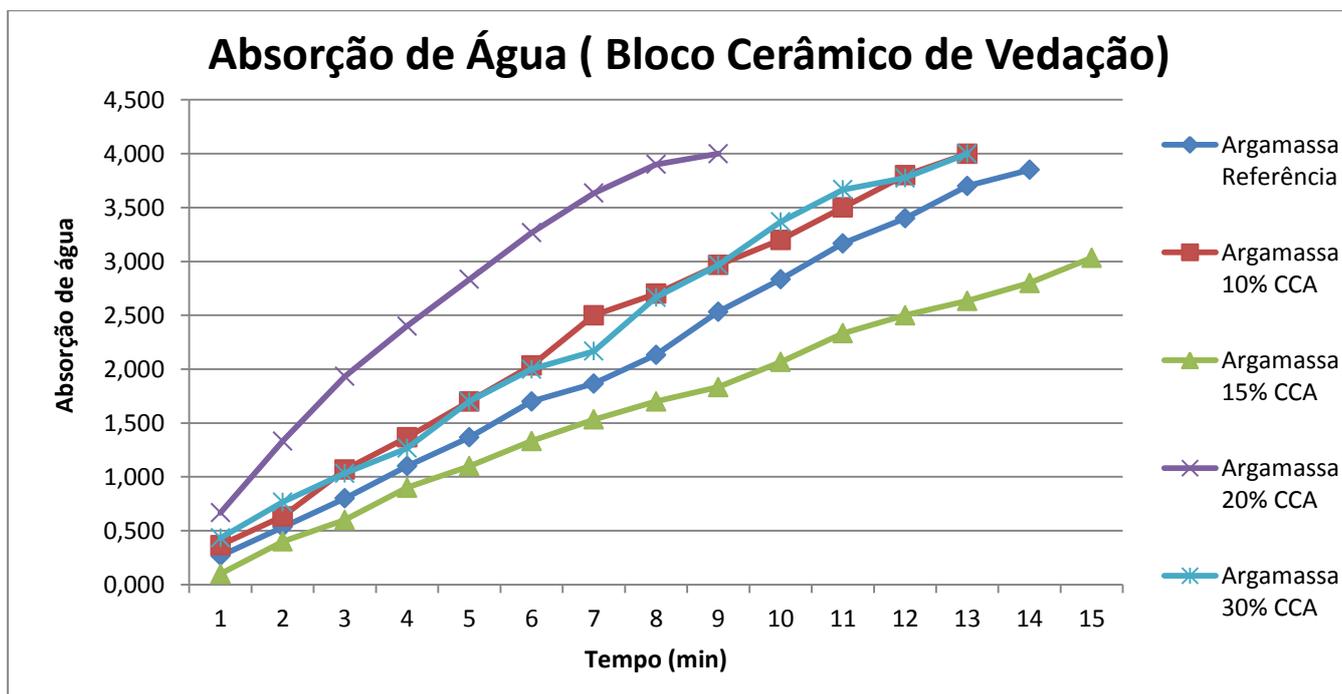
Nos Gráficos 14 e 15 estão apresentados os resultados obtidos da absorção de água para as argamassas com o substrato de bloco cerâmico estrutural e de vedação.

Gráfico 14 – Absorção de água para argamassa com substrato de bloco estrutural



Ao analisar a absorção de água obtida para as argamassas de referência e com proporções de cinza da casca de arroz, no Gráfico 14, é possível observar que a argamassa com 15% de CCA foi a que melhor se comportou, absorvendo, aos 15 minutos, aproximadamente 3,0 ml de água. Para a argamassa de referência, 10% CCA e 30% CCA, observa-se resultados muito próximos e seus comportamentos muito semelhantes, absorvendo aproximadamente aos 15 minutos a média de 3,3 ml de água, constatando que essas argamassas possuem um comportamento razoável com relação à penetração de água. Já a argamassa com 20% de CCA apresentou absorção elevada, acumulando 4 ml de água, em apenas 11 minutos.

Gráfico 15 – Absorção de água para argamassa com substrato de bloco de vedação



Ao analisar a absorção de água obtida para as argamassas de referência e com proporções de cinza da casca de arroz com substrato de bloco de vedação, no Gráfico 15, é possível observar que a argamassa com 15% de CCA foi a que melhor se comportou em relação as outras argamassas estudadas, apresentando uma absorção de aproximadamente 3 ml, aos 15 minutos. O mesmo comportamento aconteceu com de substrato de bloco estrutural.

As argamassas de referência, 10% CCA e 30% CCA obtiveram resultados muito próximos e seus comportamentos muito semelhantes, absorvendo aproximadamente, aos 13 minutos, 4 ml de água. Novamente a argamassa de 20% de CCA apresentou uma absorção elevada, acumulando 4 ml, aos 9 minutos.

Analisando os substratos, nota-se que o bloco de vedação apresentou os maiores valores de absorção e em menor tempo.

4.4.2 Resistência à aderência

Nas Tabelas 28 e 29 estão apresentados os resultados obtidos para a aderência ao arranchamento das argamassas de referência e com substituições parciais de CCA, em substratos de bloco cerâmico estrutural e de vedação, o ensaio foi realizado de acordo com a NBR 13528 (BNT, 1995). Na Tabela 27, esta descrita às formas de rupturas e suas siglas.

Tabela 27– Formas de Rupturas

| Tipos de ruptura | |
|------------------|--|
| A | Ruptura na interface argamassa-substrato |
| B | Ruptura na argamassa |
| C | Ruptura no substrato |
| D | Ruptura na interface cola-argamassa |
| E | Ruptura na interface cola-pastilha |

Tabela 28 – Ensaio de aderência – Substrato de bloco cerâmico estrutural

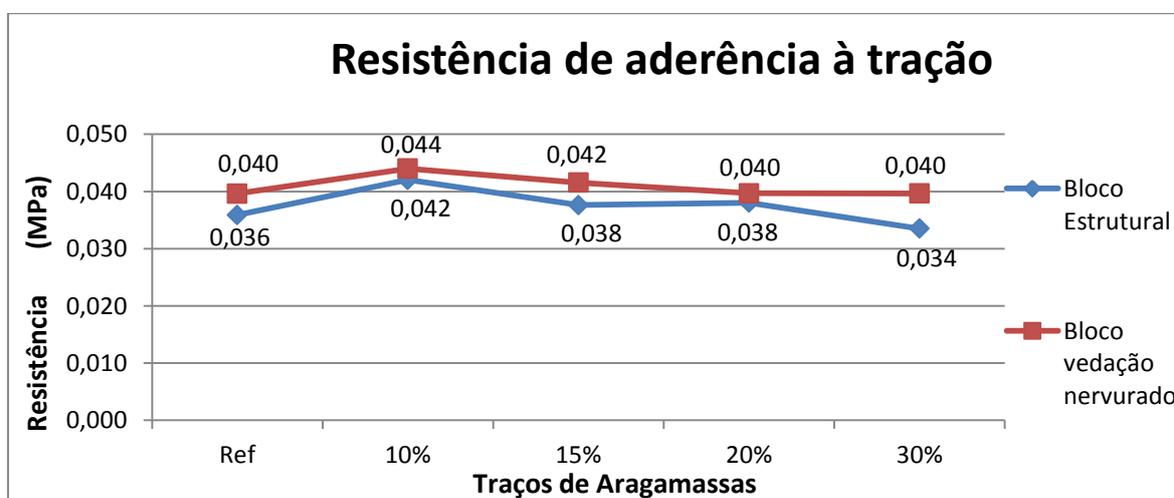
| Identificação | Corpo de prova | Área (mm ²) | Carga (N) | Resistência (MPa) | Forma de Ruptura | Resistência Média (MPa) |
|----------------------------------|----------------|-------------------------|-----------|-------------------|------------------|-------------------------|
| Referência (Bloco Estrutural) | 1 | 1924,4 | 61,1 | 0,032 | A | 0,036 |
| | 2 | 1924,4 | 65,8 | 0,034 | A | |
| | 3 | 1924,4 | 76,1 | 0,040 | D | |
| | 4 | 1924,4 | 70,2 | 0,036 | A | |
| | 5 | 1924,4 | 79 | 0,041 | A | |
| | 6 | 1924,4 | 62,3 | 0,032 | A | |
| 10% CCA (Bloco Estrutural) | 1 | 1924,4 | 75 | 0,039 | A | 0,042 |
| | 2 | 1924,4 | 68,3 | 0,035 | A | |
| | 3 | 1924,4 | 84,8 | 0,044 | A | |
| | 4 | 1924,4 | 85,3 | 0,044 | A | |
| | 5 | 1924,4 | 90 | 0,047 | A | |
| | 6 | 1924,4 | 81,8 | 0,043 | A | |
| 15% CCA (Bloco Estrutural) | 1 | 1924,4 | 81,3 | 0,042 | A | 0,038 |
| | 2 | 1924,4 | 78 | 0,041 | D | |
| | 3 | 1924,4 | 63,4 | 0,033 | B | |
| | 4 | 1924,4 | 65,8 | 0,034 | B | |
| | 5 | 1924,4 | 71 | 0,037 | A | |
| | 6 | 1924,4 | 74,8 | 0,039 | A | |
| 20% CCA (Bloco Estrutural) | 1 | 1924,4 | 77,4 | 0,040 | A/B | 0,038 |
| | 2 | 1924,4 | 63,6 | 0,033 | A/B | |
| | 3 | 1924,4 | 74,9 | 0,039 | A | |
| | 4 | 1924,4 | 80 | 0,042 | A | |
| | 5 | 1924,4 | 72,3 | 0,038 | A/B | |
| | 6 | 1924,4 | 71 | 0,037 | A | |
| 30% CCA (Bloco Estrutural) | 1 | 1924,4 | 65,6 | 0,034 | A/B | 0,034 |
| | 2 | 1924,4 | 55,8 | 0,029 | D | |
| | 3 | 1924,4 | 60,2 | 0,031 | A/B | |
| | 4 | 1924,4 | 70,3 | 0,037 | A/B | |
| | 5 | 1924,4 | 63,9 | 0,033 | A/B | |
| | 6 | 1924,4 | 71,2 | 0,037 | A | |

Tabela 29 – Ensaio de aderência – Substrato de bloco cerâmico vedação

| Identificação | Corpo de prova | Área (mm²) | Carga (N) | Resistência (MPa) | Forma de Ruptura | Resistência Média (MPa) |
|---|----------------|------------|-----------|-------------------|------------------|-------------------------|
| Referência (Bloco Vedação nervurado) | 1 | 1924,4 | 78,6 | 0,041 | B/D | 0,040 |
| | 2 | 1924,4 | 81,6 | 0,042 | B/D | |
| | 3 | 1924,4 | 76,1 | 0,040 | D | |
| | 4 | 1924,4 | 70,2 | 0,036 | D | |
| | 5 | 1924,4 | 79 | 0,041 | D | |
| | 6 | 1924,4 | 72 | 0,037 | D | |
| 10% CCA (Bloco Vedação nervurado) | 1 | 1924,4 | 75 | 0,039 | A | 0,044 |
| | 2 | 1924,4 | 91,3 | 0,047 | D | |
| | 3 | 1924,4 | 84,8 | 0,044 | A | |
| | 4 | 1924,4 | 85,3 | 0,044 | A | |
| | 5 | 1924,4 | 90 | 0,047 | D | |
| | 6 | 1924,4 | 81,8 | 0,043 | C | |
| 15% CCA (Bloco Vedação nervurado) | 1 | 1924,4 | 83,5 | 0,043 | A | 0,042 |
| | 2 | 1924,4 | 78 | 0,041 | A | |
| | 3 | 1924,4 | 75,9 | 0,039 | A | |
| | 4 | 1924,4 | 86,4 | 0,045 | A | |
| | 5 | 1924,4 | 76,4 | 0,040 | A | |
| | 6 | 1924,4 | 79,5 | 0,041 | D | |
| 20% CCA (Bloco Vedação nervurado) | 1 | 1924,4 | 77,4 | 0,040 | A | 0,040 |
| | 2 | 1924,4 | 82,6 | 0,043 | A | |
| | 3 | 1924,4 | 74,9 | 0,039 | A/B | |
| | 4 | 1924,4 | 80 | 0,042 | A/B | |
| | 5 | 1924,4 | 72,3 | 0,038 | B | |
| | 6 | 1924,4 | 71 | 0,037 | A | |
| 30% CCA (Bloco Vedação nervurado) | 1 | 1924,4 | 65,6 | 0,034 | B | 0,040 |
| | 2 | 1924,4 | 78,6 | 0,041 | D | |
| | 3 | 1924,4 | 75,8 | 0,039 | D | |
| | 4 | 1924,4 | 70,3 | 0,037 | B | |
| | 5 | 1924,4 | 81,7 | 0,042 | B | |
| | 6 | 1924,4 | 85,9 | 0,045 | B | |

O Gráfico 16 mostra os dados da resistência à aderência das argamassas para os dois tipos de substratos estudados.

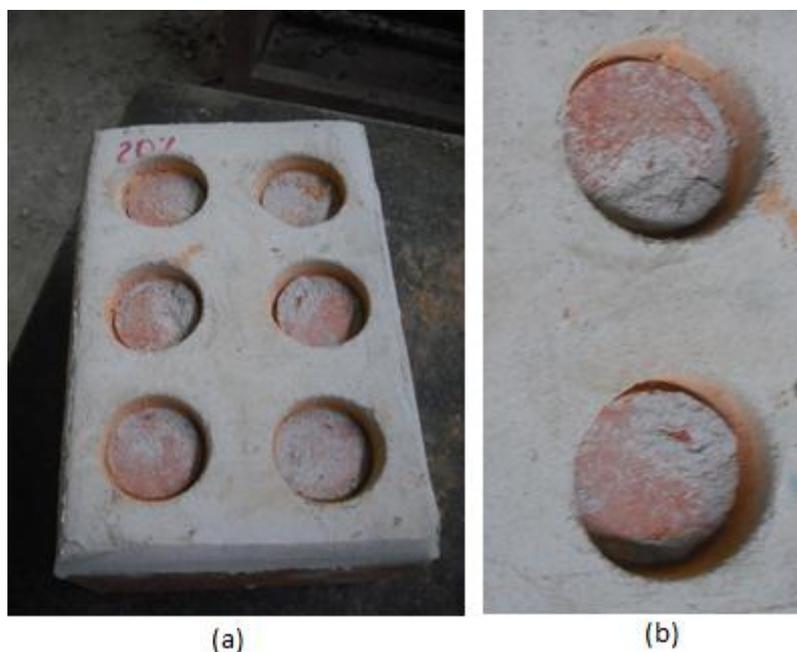
Gráfico 16 – Resistência à aderência das argamassas



Ao analisar a resistência à aderência, obtida para as argamassas de referência e com proporções de cinza da casca de arroz, no Gráfico 16, é possível observar que as argamassas do substrato de bloco de vedação obtiveram resistências mais altas que as do substrato de bloco estrutural. Isto, pode ter ocorrido, pelo fato de o bloco de vedação ser nervurado assim, possuindo uma melhor aderência entre os elementos. Porém, os resultados de resistência à aderência para os dois tipos de substratos apresentaram altos índices de variação e resultados muito baixos, podendo constatar que esses fatores estão relacionados ao tipo de argamassa, substrato e aplicação. Para o substrato não foi realizada nenhuma preparação, justificando assim, a baixa resistência.

Ao analisar as formas de rupturas obtidas, verifica-se que as argamassas no substrato de bloco estrutural apresentaram praticamente rupturas do tipo A (interface argamassa-substrato) e A/B (parte interface argamassa-substrato/ parte ruptura na argamassa), como mostra a Figura 21, na parte “a” rupturas do tipo A e na parte “b” rupturas do tipo A/B.

Figura 21 – Rupturas



As rupturas das argamassas com substrato de bloco de vedação obtiveram 6 tipos de rupturas como, A, B, A/B, C, D, B/D, sendo, a maioria A e D.

As Figuras 22 e 23 ilustram alguns tipos de rupturas relacionadas as

argamassas com substrato de bloco de vedação onde, na parte “a” rupturas do tipo A (interface argamassa-substrato) e na parte “b” rupturas do tipo D (interface cola-argamassa).

Figura 22 – Rupturas A

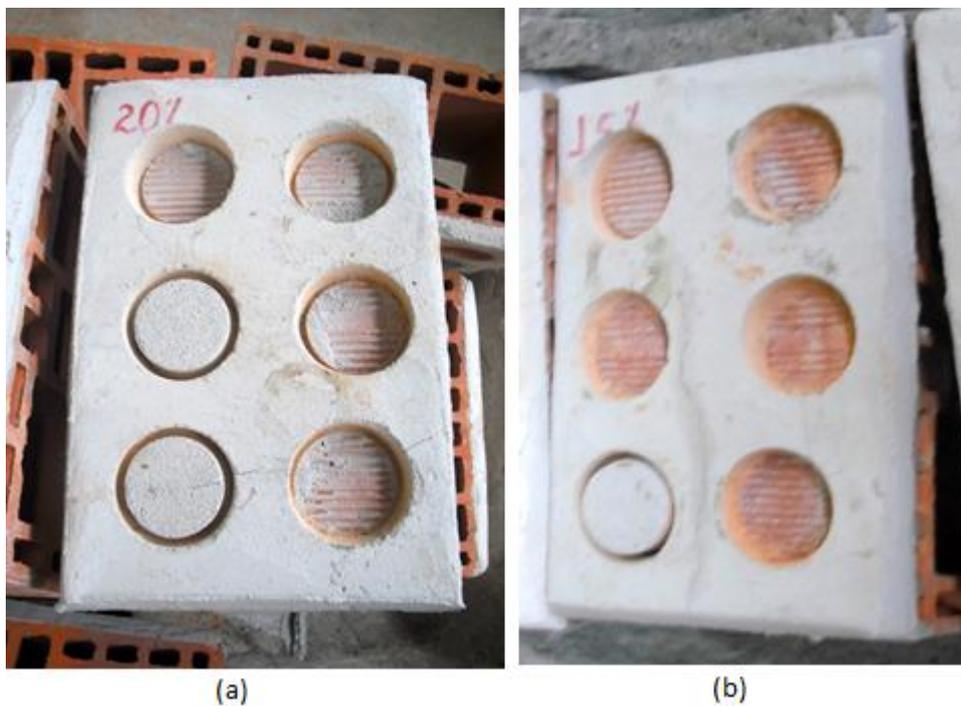


Figura 23 – Ruptura D



Capítulo 5

CONCLUSÕES FINAIS

Neste capítulo será apresentado o que se pode concluir através dos estudos da incorporação da cinza da casca de arroz em argamassas de assentamento e revestimento.

5.1 CONCLUSÕES

Índice de consistência das argamassas de assentamento e revestimento

Para o índice de consistência das argamassas observou-se que a quantidade de água utilizada para confecção das argamassas aumentou proporcionalmente com o aumento da quantidade de finos de cada mistura.

Densidade de massa e teor de ar incorporado

Para a densidade de massa observou-se que as argamassas com CCA apresentaram melhor desempenho que as argamassas de referência. As argamassas de revestimento apresentaram melhor comportamento quando comparadas com as de assentamento.

As argamassas de assentamento e de revestimento foram classificadas de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) como sendo do tipo A, quando relacionadas ao teor de ar incorporado.

Resistência à tração na flexão

Para o ensaio de resistência à tração na flexão percebeu-se que tanto para as argamassas de assentamento quanto de revestimento, os traços de 10% e 15% de CCA obtiveram resultados superiores ao traço de referência e um decréscimo para as porcentagens de 20% e 30%.

Resistência à compressão

As argamassas de assentamento e revestimento com proporções de cinza apresentaram melhor desempenho mecânico em relação às argamassas de referência. Os teores que obtiveram os melhores resultados foram os de 10% de substituição.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) as argamassas de revestimento com 10% e 15% de CCA estão classificadas como sendo do tipo II e a de referência, 20% e 30% de CCA como tipo I. As argamassas de assentamento estão classificadas como tipo III.

Módulo de elasticidade

Para o ensaio de módulo de elasticidade pode-se observar que as argamassas com porcentagens de CCA obtiveram módulo de elasticidade dinâmico menores, em relação às argamassas de referência, com exceção da argamassa de assentamento com 15% de CCA. Com base em estudos, quanto menor o módulo de elasticidade da argamassa, maior sua capacidade de absorver deformações.

Compressão dos prismas de dois blocos

Para a resistência a compressão dos prismas observou-se que as argamassas modificadas com cinza, obtiveram resistências superiores a argamassa de referência. No entanto, pode-se observar, também, que os prismas obtiveram uma ruptura explosiva, havendo a ruptura do bloco e não da argamassa. Este fato ocorreu, pois, a argamassa de assentamento obteve a resistência muito superior a do bloco.

Absorção de água

Para a absorção de água dos revestimentos argamassados, observou-se que as argamassas com o substrato de bloco cerâmico estrutural obteve menor resultados de absorção em relação ao substrato de bloco cerâmico de vedação.

Ao analisar as argamassas, observou-se que a argamassas com 15% de CCA foram as mais satisfatórias, absorvendo menos água em relação à argamassa de referência, tanto para o substrato de bloco estrutural, quanto ao de vedação. Já

as argamassas 10%, 20% e 30% de CCA apresentaram resultados superiores ao da referência, sendo a de 20% de CCA com o pior resultado.

Resistência à aderência

Para resistência à aderência pode-se observar que as argamassas do substrato de bloco de vedação obtiveram resistências mais elevadas em comparação ao substrato com bloco estrutural. Porém, os resultados da resistência à aderência não foram muito satisfatórias, pois, uma das justificativas que leva a esses resultados pode ser que substrato não recebeu nenhuma preparação antes de ser aplicado o revestimento, sendo assim, adquirindo pouca aderência entre os elementos.

Conclusão final

Diante dos resultados obtidos para esta pesquisa pode-se verificar que todas as matérias-primas atenderam as exigências estabelecidas pelas normas da ABNT, possibilitando a utilização destes materiais para a produção de argamassas de assentamento e revestimento. Para a cinza da casca do arroz sua utilização se mostrou viável por apresentarem desempenhos satisfatórios quanto aos aspectos físicos e mecânicos das argamassas.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar um estudo econômico do uso da cinza da casca de arroz, avaliando custos com gerenciamento de resíduos.
- Realizar estudo de dosagens com a utilização de superplastificantes, para melhorar a relação a/c, no intuito de melhorar as características das argamassas.
- Investigar patologias que a cinza da casca de arroz podem causar em argamassas de assentamento e de revestimento.
- Analisar o desenvolvimento físico e mecânico das argamassas com outras porções de substituição de cimento pela cinza da casca de arroz.

- Moldagem de mini-paredes para uma melhor análise à compressão, bem como a utilização de transdutores para medição dos deslocamentos, no intuito de obter o módulo de elasticidade estático, para comprovar o comportamento na ruptura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, G. A. B. C. ***Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas com saibro da região de Maceió para revestimento.*** Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1995.
- ARAÚJO, G. S. ***Estudo de parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens.*** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ***NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.*** ABNT, 1998.
- _____. ***NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.*** ABNT, 1997.
- _____. ***NBR 8491: Tijolo maciço de solo-cimento – Especificação.*** ABNT, 1984.
- _____. ***NBR 9776: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.*** ABNT, 1987.
- _____. ***NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica.*** ABNT, 2005.
- _____. ***NBR 9779: Argamassa e concreto endurecido – Determinação da absorção da água por capilaridade – Método de ensaio.*** ABNT, 1995.
- _____. ***NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência.*** ABNT, 2005.

- _____. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. ABNT, 2005
- _____. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. ABNT, 2005.
- _____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. ABNT, 2005.
- _____. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. ABNT, 2005.
- _____. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. ABNT, 2005.
- _____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. ABNT, 2010.
- _____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.
- _____. **NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. ABNT, 2008.
- _____. **NBR NM 23:** Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. ABNT, 2000.
- _____. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. ABNT, 2003.
- BEZERRA, I. M. T. **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento.** Dissertação (Mestrado) – Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2010.
- CAMACHO, J. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** NEPAE – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Soleira, 2006.
- CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo, IBRACON, 2007.
- JÚNIOR, A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico.** Tese de

- Doutorado apresentado ao curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2005.
- CORDEIRO, L. N. P. **Análise da variação do índice de amorfismo da cinza de casca de arroz sobre a atividade pozolânica.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2009.
- FERREIRA, C. S. **Desenvolvimento do processo de obtenção de filme polimérico a partir da cinza da casca de arroz.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Florianópolis, 2005.
- FURQUIM, P. R. V. **Estudo estatístico de produção de concreto com adições minerais.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, RS, 2006.
- GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guaduaangustifolia*.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9,p.107-114, 2005.
- MEIRA, L. R. **Propriedades mecânicas e retração do concreto com adição de cinza de casca de arroz natural, sem beneficiamento de moagem.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, RS, 2009.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: PINI, 1994.
- MILANI, A. P. S. **Avaliação física, mecânica e térmica do material solo-cimento-cinza de casca de arroz e seu desempenho como parede monolítica.** Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Campinas, 2008.
- NETTO, R. M. **Materiais pozolânicos.** Curso de especialização em Construção Civil, Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 2006.
- OLIVEIRA, L. S. **Influência da cal na trabalhabilidade e na resistência mecânica de argamassas.** Dissertação – Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2009.
- POUEY, M. T. F. **Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com**

- vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2006.
- RIGHI, D. P. **Caracterização de argamassa à base de cimento Portland e cinza de casca de arroz oriunda da queima com e sem controle de temperatura.** Dissertação (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Curso Engenharia Civil. Alegrete, 2012.
- ROCHA, A. K. A. **Incorporação de Resíduo de Caulim em Argamassas de Alvenaria.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2005.
- SANTOS, H. B. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento.** Monografia Curso de Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 2008.
- SANTOS, S. **Produção e avaliação do uso de pozolana com baixo teor de carbono obtida da cinza da casca de arroz residual para concreto de alto desempenho.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006, 285p.
- SILVA, E. J.; RICCI, E. C.; TASHIMA, M. M.; AKASAKI, J. L.; BARBOSA, M. B.; ALCANTARA, M. A. M. **Influência da adição de Cinza de Casca de Arroz (CCA) no combate à reação álcali-agregado.** Anais IBRACON 2006.
- SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.
- SILVEIRA, A. A. **Utilização de cinza de casca de arroz com vista a durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos.** Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1996.
- SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo da fachada de edifícios.** Dissertação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989.
- SOUZA, M. I. B; SEGANTINI, A. A. S; PEREIRA, J. A.; SILVA J. P. N. **Avaliação de tijolos de solo-cimento produzidos com resíduos de construção.** 2º

Workshop “ Concreto: Durabilidade, Qualidade e Novas Tecnologias”. IBRACON NOROESTE/ SP, 2006

- SPRINGER, J. H. ***Contribuição ao estudo dos revestimentos argamassados externos em substrato de concreto com vistas à minimização da geração de resíduos.*** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em gestão Tecnológica: Mestrado em Qualidade Ambiental, Centro Universitário Feevale. Novo Hamburgo, 2008.
- TASHIMA, M. M, ***Cinza de Casca de Arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland.*** Ilha Solteira – São Paulo. Mestrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia UNESP. Área de Conhecimento Estruturas 2006.
- VASCONCELOS, A. R. B. ***Análise experimental da durabilidade de concretos de alto desempenho com adição de resíduo de borracha de pneu e cinza da casca de arroz.*** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Ilha Solteira, 2009.
- VIAPIANA, R. ***Análise da resistência de prismas de blocos cerâmicos e de blocos de concreto com função estrutural.*** Dissertação (Graduação) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Curso de Engenharia Civil. Ijuí, 2009.