



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS



HUÁLISSEON THAISSON DE AQUINO FREITAS

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE
ARROZ PARA MITIGAÇÃO DE EFLORESCÊNCIAS EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO

MOSSORÓ

2018

HUÁLISON THAISSON DE AQUINO FREITAS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE
ARROZ PARA MITIGAÇÃO DE EFLORESCÊNCIAS EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Rodrigo Nogueira Codes, Prof. Dr.

MOSSORÓ
2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F862a FREITAS, Huálisson Thaisson de Aquino.
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DA CINZA
DA CASCA DE ARROZ PARA MITIGAÇÃO DE
EFLORESCÊNCIAS EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO /
Huálisson Thaisson de Aquino FREITAS. - 2018.
88 f. : il.

Orientador: Rodrigo Nogueira de CODES.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Ciência e Engenharia de Materiais, 2018.

1. cinza da casca de arroz. 2. argamassas. 3.
durabilidade. 4. eflorescência. I. CODES, Rodrigo
Nogueira de, orient. II. Título.

HUÁLISSEON THAISSON DE AQUINO FREITAS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE
ARROZ PARA MITIGAÇÃO DE EFLORESCÊNCIAS EM ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO**

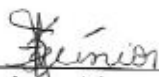
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

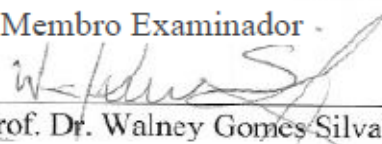
Orientador: Rodrigo Nogueira Codes,
Prof. Dr.

Defendida em: 17 / 05 / 2018.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Rodrigo Nogueira de Codes
Presidente


Prof. Dr. Francisco Alves da Silva Júnior
Membro Examinador


Prof. Dr. Walney Gomes Silva
Membro Examinador

A Omar de Freitas, meu pai.
A Valdir Chaves, meu avô.

A Maria Genilda, minha mãe.
José Hudson e Omar Jr, meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Com grande satisfação me deparo com a conclusão de mais um trabalho. Vários entraves e dificuldades estiveram presentes, mas, a minha persistência, muitas vezes alimentada por familiares e amigos me encorajou a seguir, e buscar a concretização dessa conquista. Portanto, dedico esse espaço a todos que colaboraram, que foram imprescindíveis para que eu pudesse alcançar o êxito em mais uma etapa da minha vida.

Primeiramente, gratidão a Deus, pelo dom da vida, por me fazer acreditar, ser amparo em todos meus dias, uma força inexplicável nas situações inesperadas.

À minha família, minha querida mãe, Maria Genilda, que é minha maior inspiração de força, fé, caráter, bondade. Aos meus irmãos, Hudson e Omar Jr, por todo companheirismo, apoio. Meu sobrinho, Pedro Arthur, e cunhada, Hildérica Sarmiento, por toda atenção e carinho. A minha avó, Maria Nilza, por toda preocupação e torcida.

Ao professor e orientador, Dr. Rodrigo Codes, pela grande paciência na construção deste trabalho, pela compreensão em minhas faltas e falhas. Obrigado pelo apoio e parceria.

Ao amigo, Emanuel Carvalho, por todo apoio, incentivo, ajuda. Sem dúvidas, foi fundamental para chegar ao fim deste trabalho. Serei eternamente grato.

Aos compadres, Raul Alves e Fabiana, e a amiga, Luana Diniz, por terem sido verdadeiros facilitadores. A assistência foi primordial para amenizar as dificuldades.

Ao IFRN, por disponibilizar o laboratório de Construção Civil para realização dos ensaios. Ao seu técnico, Valteson, por toda atenção e colaboração.

Aos técnicos laboratoristas da UFERSA: Rudna Angélica, Jussier, Luiz Carlos, David Ribeiro, pela atenção e suporte.

Aos professores, Dr. Clodomiro Alves e Dra. Marília Oliveira, por terem contribuído na revisão deste trabalho, na etapa da Qualificação, dando opiniões e sugestões que visavam o melhoramento do mesmo.

Aos professores, Dr. Francisco Alves Jr. e Dr. Walney Gomes, por terem aceito o convite em participar da banca de defesa deste trabalho, e posteriormente, terem colaborado com ideias e nos ajustes necessários para aprimorar a dissertação.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”
(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

A alta produção de arroz no Brasil gera abundante quantidade de casca, que são jogados ao meio ambiente por não ter uma deposição ou uso adequado. Vários estudos desenvolvidos mostram a aplicação da casca de arroz e/ou cinza da casca de arroz (CCA) na construção civil, sendo incrementadas em argamassas e concreto, como também em tijolos para uso de residências populares. Partindo dessa ideia, este trabalho irá abordar o uso da CCA em argamassas de revestimentos, com um traço em massa usual de 1:3 (cimento:areia), com o intuito de analisar suas propriedades mecânicas como: resistência à tração e resistência à compressão; propriedades ligadas a durabilidade como: absorção, capilaridade, porosidade. As argamassas foram comparadas tendo como variáveis o tempo de cura (28 dias, 56 dias, 68 dias e 98 dias), e a substituição do aglomerante cimento por porcentagens de 10% e 15% de CCA. Inicialmente foi realizado os ensaios de caracterização dos materiais através dos ensaios: granulometria por peneiramento e granulometria a laser, DRX, área específica, massa unitária; somados a dados fornecidos pelos fabricantes. Após determinar a consistência, os corpos-de-prova foram moldados. Além de verificar as propriedades citadas acima, foram feitos estudos para testar a atividade pozolânica, e em destaque a avaliação da eflorescência, mensurando a quantidade de sal eflorescido sob a superfície dos corpos-de-prova. Os resultados da caracterização dos materiais demonstram que estão nos padrões determinados pela ABNT. Já os referentes a durabilidade, as argamassas com CCA tiveram menor formação de eflorescências. Quanto a resistência, apontam as argamassas convencionais com melhores resultados do que as argamassas alternativas (10% e 15% de CCA). Porém, os percentuais de variação entre uma argamassa convencional e uma argamassa alternativa, não são tão significativos, o que não compromete a viabilidade técnica da CCA.

Palavras-chave: cinza da casca de arroz, argamassas, durabilidade, eflorescência.

ABSTRACT

The high production of rice in Brazil generates abundant amount of bark, that are thrown to the environment for not having an adequate deposition or use. Several studies have shown the application of rice hulls and / or grains of rice hulls (CCA) in the construction industry, being increased in mortars and concrete, as well as in bricks for the use of popular residences. Based on this idea, this work will address the use of CCA in coatings mortars, with a usual mass dash of 1: 3(cement: sand), with the purpose of analyzing its mechanical properties as: tensile strength and compressive strength; properties linked to durability such as: absorption, capillarity, porosity. Mortars were compared with curing time (28 days, 56 days, 68 days and 98 days) and cement substitution by percentages of 10% and 15% of CCA. Initially the characterization tests were carried out through the following tests: granulometry by sieving and laser granulometry, XRD, specific area, unit mass; together with data provided by manufacturers. After determining the consistency, the specimens were molded. In addition to checking the properties mentioned above, studies were carried out to test the pozzolanic activity, with emphasis on efflorescence evaluation, measuring the amount of efflorescence salt under the surface of the specimens. The results of the characterization of the materials demonstrate that they are in the standards determined by ABNT. Regarding the durability, the mortars with CCA had a lower efflorescence formation. Regarding the resistance, conventional mortars with better results than alternative mortars (10% and 15% of CCA) are pointed out. However, the percentages of variation between a conventional mortar and an alternative mortar are not so significant, which does not compromise the technical feasibility of the CCA.

Keywords: rice husk ash, mortars, durability, efflorescence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Subflorescência em alvenaria	15
Figura 2 - Eflorescência em alvenaria	15
Figura 3 - Localização Geográfica da cidade Morada Nova – CE.....	17
Figura 4 - Lei de evolução de custos	22
Figura 5 - Eflorescência na alvenaria de bloco cerâmico	27
Figura 6 - Fatores contribuintes para formação da eflorescência.....	28
Figura 7 - Eflorescência acentuada na alvenaria	29
Figura 8 - Organograma das utilidades da casca de arroz.	40
Figura 9 - Cinza da casca de arroz (CCA).....	51
Figura 10 - Cinza da casca de arroz (moída).....	52
Figura 11 - Fluxograma dos ensaios realizados	53
Figura 12 - Mesa de consistência (Flow-table)	56
Figura 13 – Ensaio de consistência.....	57
Figura 14 - corpo-de-prova prismático 12 cm x 16 cm x 4 cm (LxCxH).....	58
Figura 15 - corpo-de-prova cilíndrico 5 cm x 10 cm.....	59
Figura 16 - Corpos de prova moldados	59
Figura 17 - Prensa Universal EMIC modelo SSH300.....	61
Figura 18 - Ensaio de absorção por capilaridade.....	62
Figura 19 - Ensaio de absorção por imersão em água – Corpos-de-prova na ebulição por 5h	63
Figura 20 - Ensaio da eflorescência – moldagem dos CP's	65
Figura 21 - Curva granulométrica do agregado miúdo.....	66
Figura 22 - Curva granulométrica da Cinza da Casca de Arroz (CCA).....	67
Figura 23 - DRX da cinza natural e moída.....	68
Figura 24 - Absorção por capilaridade (g/cm ²) - 28 dias.....	72
Figura 25 - Absorção por capilaridade (g/cm ²) - 56 dias.....	73
Figura 26 - Absorção por imersão em água - 28 dias e 68 dias.....	74
Figura 27 - Início do processo de imersão das placas na solução de sulfato de sódio	75
Figura 28 - Estado das placas de argamassa após o período de imersão.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Solubilidade de alguns sais com tendência ou não de formar eflorescências.	25
Tabela 2 - Sais comuns em eflorescências, sua solubilidade e fonte provável.	26
Tabela 3 - Fatores que influenciam na plasticidade e consistência.	32
Tabela 4 - Influência do tempo de moagem na superfície específica e pozolanidade da CCA.	43
Tabela 5 - Resultados das propriedades físico-mecânicas-químicas do cimento.....	49
Tabela 6- Características do superplastificante	50
Tabela 7 - Quantidade de CP's 50mmx100mm moldados para o ensaio de Índice de desempenho com o cimento, e atividade pozolânica.....	55
Tabela 8 - Resumo dos moldes e quantidade corpo – de – prova	58
Tabela 9 - Quantidade de Corpos-de-prova 4cm x 4cm x 16cm moldados para o ensaio de Flexão à tração e para ensaio de compressão.	60
Tabela 10 - Quantidade de Corpos-de-prova 5cm x 10cm moldados para o ensaio de absorção por capilaridade.	61
Tabela 11 - Quantidade de corpos-de-prova 5cm x 10cm moldados para o ensaio de absorção por imersão em água.....	63
Tabela 12 - Características físicas do agregado miúdo.	66
Tabela 13 - Índice de consistência das argamassas trabalhadas.....	69
Tabela 14 – Médias das resistências à tração na flexão	70
Tabela 15 - Classificação das argamassas segundo a NBR 13281 - critério resistência à tração	70
Tabela 16 - Médias das resistências à compressão.....	70
Tabela 17 - Classificação das argamassas segundo a NBR 13281 - critério resistência à compressão	70
Tabela 18 - Dados das absorções por capilaridade (g/cm ²) - 28 dias	72
Tabela 19 - Dados das absorções por capilaridade (g/cm ²) - 56 dias	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES	19
2.1.1 <i>Conceituação da Patologia e Inserção na Construção Civil</i>	19
2.1.2 <i>Importância de Estudar as Manifestações Patológicas</i>	21
2.1.3 <i>Identificação das Manifestações Patológicas</i>	23
2.1.4 <i>Eflorescência</i>	24
2.2 ARGAMASSA	29
2.2.1 <i>Estado Fresco</i>	30
2.2.2 <i>Estado Endurecido</i>	34
2.3 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS/MINERAIS NAS ARGAMASSAS	36
2.3.1 <i>Questão ambiental</i>	36
2.3.2 <i>Materiais pozolânicos na Construção Civil</i>	37
2.3.3 <i>Cinza da Casca de Arroz</i>	39
2.3.4 <i>Adição de CCA x Propriedades das Argamassa e Concreto</i>	44
3 MATERIAIS E MÉTODOS	48
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	48
3.1.1 <i>Cimento</i>	48
3.1.2 <i>Água</i>	49
3.1.3 <i>Agregado Miúdo</i>	50
3.1.4 <i>Aditivo Superplastificante</i>	50
3.1.5 <i>Cinza da Casca de Arroz (CCA)</i>	51
3.2 MÉTODOS EXPERIMENTAIS	52
3.2.1 <i>Caracterização dos Materiais</i>	54
3.2.2 <i>Atividade Pozolânica</i>	54
3.2.3 <i>Preparação das argamassas</i>	55
3.2.4 <i>Determinação da Consistência das Argamassas</i>	56
3.2.5 <i>Moldagem dos Corpos de Prova (CP)</i>	57
3.2.6 <i>Propriedades no Estado Endurecido</i>	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	66

4.2 ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA	68
4.3 CONSISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS	68
4.4 ENSAIOS TECNOLÓGICOS DO ESTADO ENDURECIDO	69
4.4.1 Resistência: Tração na flexão e compressão.....	69
4.4.2 Absorção por Capilaridade.....	71
4.4.3 Absorção por Imersão em água.....	74
4.4.4 Ensaio da eflorescência.....	75
5 CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

Quando se fala em construção civil, logo vem em mente casas, prédios, escolas, faculdades, aeroportos, portos, estádios, estradas, dentre outras obras, que são os causadores em promover o bem estar social, dando-lhes melhorias na qualidade de vida, e principalmente em impulsionar a economia, na venda de materiais e equipamentos, como na grande geração de emprego. Isso explica a sua importância no PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro, colocando como segundo setor que mais gera riqueza ao país, ficando atrás apenas da agroindústria.

O aumento no número das construções, a falta de conhecimento técnico, a falta do padrão de qualidade na matéria-prima são fatores que contribuem para a grande ocorrência das falhas, defeitos, que atualmente são constantes nas obras da construção civil. O ramo da engenharia civil que trata desse assunto denomina-se de “Patologias”, área que se encarrega de diagnosticar, apontar os problemas que comprometem a “vida” das construções.

O concreto e a argamassa são os materiais mais usados na indústria da construção civil. Porém, devido a sua exposição a ambientes ou condições deletérias, as propriedades desses materiais ficam enfraquecidas, pois o ambiente tem a capacidade de alterar o desempenho e a integridade.

A eflorescência é o surgimento de depósitos cristalinos sob ou na superfície de um substrato, que no caso seria nas paredes, tetos, pisos e nos produtos cerâmicos. Quando se fala sob a superfície, denomina-se de subflorescências (criptoflorescência) que são florescências não visíveis; e eflorescência se formam na superfície (MENEZES et al 2006). As figuras 1 e 2, representam, respectivamente, a subflorescência e a eflorescência.

Figura 1 - Subflorescência em alvenaria



Fonte: <http://speranzaengenharia.ning.com/page/eflorescencias-e-criptoeflorescencias-parte1> Acesso: 10/04/2018

Figura 2 - Eflorescência em alvenaria



Fonte: <http://speranzaengenharia.ning.com/page/eflorescencias-e-criptoeflorescencias-parte1> Acesso: 10/04/2018

Dentre as várias patologias existentes nas construções, a eflorescência é uma que está bastante frequente. Além de ser responsável por causar problemas estéticos, pode haver a interferência na estrutura, já que atinge as armaduras. Desta forma, torna importante estudar este fenômeno que acarreta em gastos constantes no processo de manutenção predial.

Para a ocorrência da eflorescência tem que existir os contribuintes como: a porosidade, existência de água, sais solúveis em água e em temperaturas ambientais (25°C). Assim, impedindo algum desses fatores, haverá vencido teoricamente a eflorescência. (CHIN, 1993).

Ribeiro (1996) descreve o processo de cristalização de sais da seguinte forma: os sais solúveis que estão presentes nos materiais de construção e no solo onde se é construído, são transportados pela água utilizada na construção, e/ou pela água presente no solo e/ou através da água das chuvas (ou outras fontes), criando um líquido viscoso que com a ajuda da capilaridade consegue atravessar a superfície do substrato devido sua presença de poros. Com a evaporação, ficam-se apenas os sais, dando surgimento as manchas com coloração geralmente branca sobre às alvenarias, pisos e tetos.

A presença de sais no solo é uma realidade da região do semiárido nordestino, por ter um clima onde o regime de chuvas é bastante irregular, a vulnerabilidade do solo ao processo de salinização é facilmente atingido. Desta forma, as construções erguidas na região do semiárido sofrem os danos gerados pelo fenomeno da eflorescência.

Existem vários estudos com o intuito de amenizar ou extinguir a eflorescência. E desenvolver pesquisas, onde o material utilizado como solução do problema seja um resíduo proveniente da indústria, considera-se existir uma relação mútua, pois existem as problemáticas da poluição ambiental e manifestação patológica interagindo, e saldando em resultados positivos.

Nos últimos anos, tem-se percebido o crescente descarte de rejeitos sólidos, bem como a problemática do uso exagerado e desenfreado de matérias-primas naturais, e isto, motiva o desenvolvimento dos estudos sobre o aproveitamento/reciclagem de resíduos, os tornando como novos materiais, gerando uma redução nos impactos ambientais e viabilizando uma diminuição nos custos industriais.

O incremento de alguns resíduos industriais é uma das formas de aproveitar os subprodutos de outros setores como material de substituição de parcela do cimento Portland, proporcionando o desempenho do produto final.

A utilização de materiais alternativos, como a escória, a cinza volante, a *cinza de casca de arroz (CCA)* e a sílica ativa, bem como suas combinações, podem produzir materiais com melhor desempenho (NEVILLE, 1997).

A casca de arroz, ao passar pelo processo da queima obtê-se um sílica bastante reativa, com menos álcalis e outros elementos. Os estudos desenvolvidos com este material visam transformá-lo em material pozolânico, e que combata principalmente a influência da eflorescência. A casca de arroz já tem inclusive sua aplicabilidade na indústria cimentícia. (CRUZ et al., 2001). Desta forma, além da incorporação da CCA nos materiais trazer vantagens técnicas, também traz benefícios sociais relacionados com a diminuição de problemas de deposição irregular no meio ambiente. Assim, isto acaba sendo o estímulo para

o desenvolvimento de pesquisas que investiguem o potencial desses materiais, antes vistos como resíduo, poluentes. Este fato define uma das pretensões deste trabalho, que os resultados obtidos sirvam para a ampliação e o melhoramento do meio técnico, a fim de que aconteça novos avanços com o uso desses materiais.

De acordo com informações contidas no site do IBGE, para o ano de 2015 estima-se uma produção de 12,3 milhões toneladas de casca de arroz. Como a cinza representa 40% do peso da casca do arroz, haverá como produção de resíduo gerado a quantidade de 4,92 milhões de toneladas. (CRUZ et al., 2001).

Na cidade de Morada Nova, cidade do interior do estado do Ceará, compoendo a região do semiárido nordestino, que dista 168Km da capital, e possui 2.779.229 Km², segundo dados do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) no ano de 2010, o percentual de sua área territorial destinada para o arroz foi de 1,14%, superando a média nacional que é de 0,33%. Sua participação no total da produção agrícola municipal, no ano de 2010 foi de 67,57%, e nacionalmente foi de 3,99%. De posse desses dados, já se imagina a quantidade de resíduo (casca de arroz) que é gerada anualmente na cidade de Morada Nova. Na indústria alimentícia Arroz Viajante, onde foi retirado o material (cinza da casca de arroz) usado neste trabalho, a média de produção de cinza da casca de arroz alcança a quantidade de 700Kg/dia. Material que é apenas descartado ao ambiente, não havendo serventia nenhuma.

Figura 3 - Localização Geográfica da cidade Morada Nova – CE



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Morada_Nova Acesso: 10/04/2018

O objetivo deste trabalho consiste em produzir uma argamassa de revestimento com incorporação do resíduo cinza da casca de arroz, que aja contra o mecanismo da eflorescência. Sendo a adição da CCA através da substituição em massa de parte do material aglomerante (cimento Portland). Além disso, serão realizados testes de propriedades mecânicas com o intuito de verificar o grau de influência da adição do material mineral na argamassa.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- ✓ Caracterizar os materiais e a cinza da casca de arroz;
- ✓ Realizar os ensaios de resistência mecânica com o incremento das porcentagens de 10% e 15% de CCA;
- ✓ Aferir a propriedade da durabilidade das argamassas, pelos ensaios de absorção por capilaridade, absorção por imersão em água;
- ✓ Mensurar o sal eflorescido nas argamassas, através de um método experimental desenvolvido por SALLES (2010);
- ✓ Fazer análises comparativas entre as argamassas, tendo as variáveis tempo de cura e teor de CCA.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES

2.1.1 Conceituação da Patologia e Inserção na Construção Civil

Quando se usa na construção civil o termo “patologia”, remete-se a sinonímia da definição dada pela Medicina, que se refere a patologia como sendo o estudo das origens, os sintomas e a natureza das doenças. Transcrevendo essa definição para a construção civil, as patologias são as manifestações que ocorrem durante o ciclo de vida da edificação que venha a prejudicar o desempenho esperado do edifício e suas partes (subsistemas, elementos e componentes) (GONÇALVES, 2015).

A preocupação do homem no que tange a construção de estruturas estar adaptada às suas necessidades retoma ao início das civilizações, sejam essas construções do tipo: habitacionais (casas e edifícios), laborais (escritórios, indústrias, silos, galpões, etc.), ou de infraestrutura (pontes, cais, barragens, metrô, aquedutos, etc.). Desta forma, foi-se adquirindo e construindo um grande acervo científico ao longo dos anos, o que refletiu no desenvolvimento da tecnologia da construção, abrangendo a concepção, o cálculo, a análise e o detalhamento das estruturas, a tecnologia de materiais e as respectivas técnicas construtivas (GONÇALVES, 2015).

O crescimento sempre acelerado da construção civil, em alguns países e épocas, necessitou de inovações que trouxeram, em si, a comprovação de forma subtendida de maiores riscos. Aceitos estes riscos, ainda que dentro de certos limites, posto que regulamentados das mais diversas formas, a progressão do desenvolvimento tecnológico aconteceu naturalmente, e, com ela, o aumento do conhecimento sobre estruturas e materiais, em particular através do estudo e análise dos erros acontecidos, que têm resultado em deterioração precoce ou em acidentes (SOUZA, 1998).

Segundo o autor Degussa (2008) compreende a patologia como a área da engenharia que se preocupa em estudar os sintomas, mecanismos, causas e as origens dos defeitos das construções civis e à terapia cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles devidos ao envelhecimento natural.

Ao discutir o estudo das patologias da construção, é importante destacar o termo de vida útil, que segundo a ISO 13823 corresponde ao “período efetivo de tempo durante o qual

uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo”.

A edificação/construção ao passar do tempo, está sempre susceptível ao desgaste, que é proporcionado devido à ação das cargas e sobrecargas, estáticas, dinâmicas, vibrações, impactos, como também aos recalques diferenciados, erosão e cavitação por ação dos agentes sólidos e líquidos em reservatórios, tanques, canais. O que finda em definir a vida útil como sendo o tempo de conservação da estrutura, em que se mantém os índices mínimos de resistência e funcionalidade. E maximizar esse tempo de conservação, sem dúvida é um anseio para quem trabalha com construções de edificações (HELENE, 2011).

Um complexo conjunto de fatores gera o que é chamado de deterioração estrutural. Objetivamente, as causas da deterioração podem ser as mais diversas, desde o envelhecimento "natural" da estrutura até os acidentes, e até mesmo a irresponsabilidade de alguns profissionais que optam pela utilização de materiais fora das especificações, na maioria das vezes por alegadas razões econômicas. A soma de tantos fatores pode levar a que se considere estar-se a viver uma época de grandes preocupações, pois embora se possa argumentar com a tese de que tais problemas tenham nascido com o próprio ato de construir, é certo que nas primeiras construções tais questões não se revestiam de caráter sistemático, ficando restritas a alguns poucos problemas ocasionais (SOUZA, 1998).

Determina-se como o fim da vida útil, quando a construção tem suas propriedades deterioradas no grau que seguindo a sua utilização gera uma condição insegura ou antieconômica (ANDRADE, 1997).

Sabe-se que um dos critérios diretos para a determinação da necessidade ou não de revisão de qualquer processo de produção é a quantidade de produtos que são rejeitados, ou aceitos sob condições, ou ainda com baixo desempenho. Tais considerações, aplicadas à Engenharia de Estruturas e associadas à análise de todos os fatos expostos, implicaram, dentro dos meios técnicos, necessidade de se promover a indispensável alteração de métodos, a começar pela sistematização dos conhecimentos nesta área, apontando, então, para o desenvolvimento de um novo campo, cujo objetivo é abordar, de maneira científica, o comportamento e os problemas das estruturas (SOUZA, 1998).

No entanto, a Patologia das Estruturas não é apenas um novo campo no aspecto da identificação e conhecimento das anomalias, mas também no que se refere à concepção e ao projeto das estruturas, e, mais amplamente, à própria formação do engenheiro civil. O que ocorre é que todo o aprendizado da engenharia de estruturas tem sido feito, em nível de projeto e execução, pela abordagem das estruturas a serem construídas.

Assim, a necessidade de reabilitar e manter estruturas existentes, ditada por razões tão diversas quanto as de fundo econômico, social, patrimonial ou histórico, está criando uma nova escola no que respeita à concepção e ao projeto estrutural, em que a avaliação do que já existe, em termos de capacidade de desempenho futuro (segurança, servicibilidade e vida útil), tornou-se um dado fundamental (SOUZA, 1998).

2.1.2 Importância de Estudar as Manifestações Patológicas

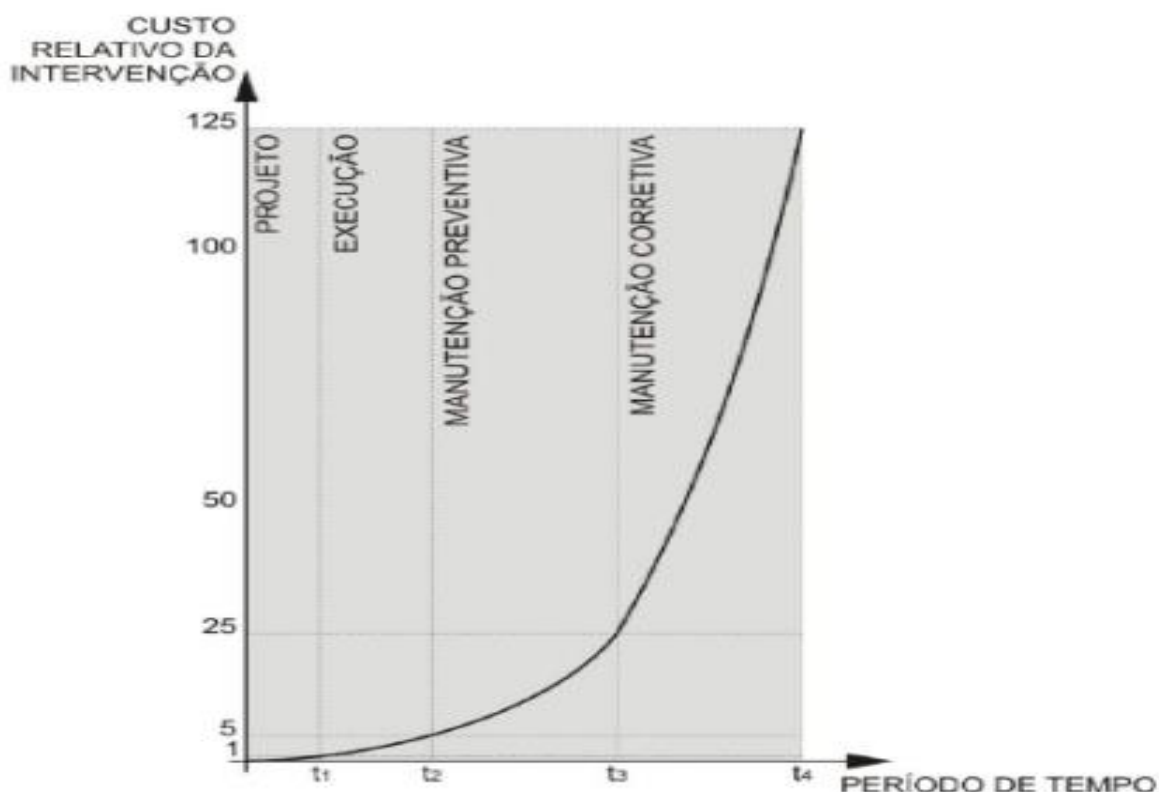
Na definição dos materiais utilizados, o método construtivo e de concepção estrutural a seguir devem considerar o desempenho esperado para a obra que será executada em um espaço de tempo previamente definido, tendo sempre em vista a agressividade ambiental a que a construção estará submetida.

Estudar as manifestações patológicas existentes nas edificações é de fundamental importância pois, elas contribuem para determinar a vida útil da construção, ou seja, a durabilidade dos materiais e componentes das edificações é dependente das várias patologias a que estão suscetíveis.

Através das características apresentadas pelas patologias é possível entender a origem, a natureza e os mecanismos desempenhados. E a partir disso, pode-se apontar as prováveis consequências. Vale salientar que as manifestações patológicas têm caráter evolutivo e com o tempo tendem a se agravar (HELENE, 1992).

No quesito recuperação das edificações devido a ocorrência das manifestações patológicas, Helene (1992) define que as correções surtem mais efeito, são mais duráveis, mais trabalhabilidade e mais baratas quanto mais cedo forem executadas. Desta forma, seguem a “Lei de Sitter”, onde os custos crescem em progressão geométrica. A Figura 4 abaixo mostra essa lógica.

Figura 4 - Lei de evolução de custos



FONTE: CEB apud HELENE (1992)

Assim fica claro que deve ter cautela nas fases de concepção, pré-análise e projeto, para que se evite problemas futuros.

Reparar os problemas sempre tem custos elevados, ainda mais quando sabe que esses problemas poderiam ser evitados se houvesse um planejamento, criação de projetos mais detalhados, uso de materiais de qualidade, mão de obra qualificada. Ou seja, otimizar os projetos e adotar uma metodologia construtiva eficiente são requisitos primordiais para evitar as patologias (HELENE, 1992).

Os aspectos abaixo demonstram a importância necessária ao estudo das patologias das construções (TAGUCHI, 2010):

- A evolução tecnológica nos materiais de construção, nas técnicas de projeto e execução;
- A questão dos países em desenvolvimento, conduzirem suas obras com rapidez, porém com pouco rigor no controle de qualidade;
- A ausência de uma ideologia voltada à manutenção ou prevenção (custo inicial e custo final);

- A ausência de um arquivamento dos registros decorrentes do não acompanhamento em obra dos projetistas e construtores;
- Normalização insuficiente.

A partir do envelhecimento das estruturas e a percepção de diferentes comportamentos de peças idênticas, desde que sujeitas aos mais variados tipos de ambientes, veio como consequência a oportunidade de juntar dados concretos quanto à performance das mesmas, e, além disto, somou-se com os muitos casos de construções não bem sucedidas, ou, na mesma linha, de sucesso, porém com a necessidade de reabilitação ou reforço em um prazo surpreendentemente curto, ou a custo elevado, a Engenharia de Estruturas viu-se, em particular na virada da década de 60 para 70, confrontada com a necessidade técnica, econômica e social de pesquisar outros critérios, que não apenas o da capacidade resistente, para garantir o sucesso das construções (SOUZA, 1998).

Apesar do despertar sobre essas questões, ainda hoje, lamentavelmente não é constante enxergar em uma determinada construção o seu prazo de validade, ou seja, sua vida útil. Ao definir a necessidade de se construir uma determinada obra de Engenharia Civil, há que, além de fornecer as garantias de uma construção sólida, resistente e de qualidade, a custos justos, estabelecer qual seria o tempo, e o correspondente custo, que garanta a continuidade do desempenho satisfatório da mesma, o que gera na adoção de um sistema de manutenção adequado. Isto é a definição prévia, em nível de etapa de concepção, da vida útil da construção (SOUZA, 1998).

2.1.3 Identificação das Manifestações Patológicas

O diagnóstico das patologias tem como objetivos imediatos os seguintes itens (TAGUCHI, 2010):

- Detectar o processo de deterioração na fase inicial;
- Analisar e determinar as causas da deterioração;
- Monitorar o progresso do processo de deterioração, mostrando a intensidade e extensão dos danos, para tomar as corretas decisões no tempo certo;

A inspeção regular definirá uma avaliação confiável das partes deterioradas e a evolução dessa deterioração.

Realizar a análise de possíveis patologias presentes nas construções recém construídas, fornecerá informações importantes para haver uma antecipação de reparos ou manutenções, o que acarretará numa prevista redução de gastos.

Dentre os vários tipos de manifestações patológicas nas edificações, temos: bolor, infiltração, fissura, descolamento de revestimento, carbonatação, *eflorescência*, dentre outras.

2.1.4 Eflorescência

O surgimento do termo Eflorescência vem do latim *eflorescentia*, que significa florescer. Esse fenômeno é identificado pelo surgimento de formações salinas sobre as superfícies dos substratos/materiais, e essas formações salinas tem o caráter empoeirado ou na forma de crostas duras e insolúveis em água. O fenômeno em grande parte dos casos é perceptível, o aspecto desagradável é visto a olho nu, mas, vale destacar os casos em que a eflorescência ocorre no interior dos corpos, logo abaixo da superfície (ROSCOE, 2008).

O autor Souza (1998) explana esses casos em que a eflorescência não fica só representada visualmente sobre a superfície, ela chega a gerar uma degradação profunda da estrutura. E a respeito da sua coloração, geralmente apresenta cor branca, mas, o que define a coloração é o tipo de sal que cristalizou.

Desde os anos 30 do século passado, Brady e Coleman (1931-1932), além de Cooling (1930), já vem difundindo estudos sobre as eflorescências. Na década de 50, começa a haver um avanço nesses estudos, pois um significativo número de trabalhos sobre o comportamento das eflorescências passa a ser editado, em especial, por parte de alemães, franceses e espanhóis. Já se passaram mais de 50 anos da publicação do primeiro artigo científico com a abordagem da eflorescência e cristalização nas alvenarias, mas, mesmo assim a dificuldade de neutralizar o fenômeno ainda é bastante presente nos dias atuais, isso se deve ao fato da complexidade do mecanismo de seu surgimento. De início, é simples entender esse mecanismo, porém quando parte para prática, percebe-se que se trata de algo muito complexo (MONTEIRO, 2009).

No geral, os sais que participam mais das eflorescências são os sais de metais alcalinos (sódio e potássio) e alcalino-ferrosos (cálcio e magnésio, solúveis ou parcialmente solúveis em água). Com a ação da água de chuva ou da água contida no solo, acontece a dissolução desde sais, que posteriormente migram para a superfície por efeito da capilaridade e da

porosidade, e em seguida com a evaporação da água resulta na formação de depósitos salinos. (GRANATO, 2005).

Como já dito anteriormente, os sais como sulfato de cálcio e de magnésio são apontados por muitos estudiosos como causadores da eflorescência, e isso se deve ao grau de solubilidade desses sais, como pode ser analisado na Tabela 1.

Tabela 1 - Solubilidade de alguns sais com tendência ou não de formar eflorescências.

SAL	SOLUBILIDADE g/100ml água fria	Temperatura de fusão (f) ou de decomposição (d)/°C	Formação de Eflorescências
MgCO₃	0.0106	350 (d)	Não
CaCO₃	0.0014	825 (d)	Não
BaCO₃	0.0022	1450 (d)	Não
Na₂CO₃	7.1	851 (f)	Não
MgCl₂	35.3	147 (f)	Não
CaCl₂	59.5	772 (f)	Não
SrCl₂	43.5	873 (f)	Não
BaCl₂	31	962 (f)	Abundante
ZnCl₂	432	262 (f)	Não
MgSO₄.7H₂O	71	1185 (f)	Abundante
CaSO₄.2H₂O	0.241	1450 (f)	Rápida
SrSO₄	0.0113	1580 (d)	Não
BaSO₄	0.00023	1580 (f)	Não
ZnSO₄	86.5	740 (d)	Sim
CdSO₄	75.5	1000 (f)	Sim
Na₂SO₄	4.76	884 (f)	Não
Cd(NO₃)₂.4H₂O	109.7	100 (f)	Não

Fonte: BROWNELL (1955, apud VERDUCH; SOLANA 2000)

No trabalho de Bauer (2001), ele mostra os sais mais comuns em eflorescências, sua solubilidade em água, como a causa provável para o surgimento desses sais. A tabela 2 mostra essas informações.

Tabela 2 - Sais comuns em eflorescências, sua solubilidade e fonte provável.

Composição Química	Solubilidade em água	Fonte provável
Carbonato de cálcio	Pouco solúvel	Carbonatação do hidróxido de cálcio do cimento; Cal não carbonatada
Carbonato de magnésio	Pouco solúvel	Carbonatação do hidróxido de cálcio do cimento; Cal não carbonatada
Carbonato de potássio	Muito solúvel	Carbonatação de hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
Carbonato de sódio	Muito solúvel	Carbonatação de hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
Hidróxido de cálcio	Solúvel	Cal liberada na hidratação do cimento
Sulfato de cálcio desidratado	Parcialmente solúvel	Hidratação do sulfato de cálcio do tijolo.
Sulfato de magnésio	Solúvel	Tijolo, água de amassamento
Sulfato de cálcio	Parcialmente solúvel	Tijolo, água de amassamento
Sulfato de potássio	Muito solúvel	Tijolo, água de amassamento e cimento
Sulfato de sódio	Muito solúvel	Tijolo, água de amassamento e cimento
Cloreto de cálcio	Muito solúvel	Água de amassamento.
Cloreto de magnésio	Muito solúvel	Água de amassamento.
Nitrato de magnésio	Muito solúvel	Solo adubado ou contaminado.
Nitrato de sódio	Muito solúvel	Solo adubado ou contaminado.
Nitrato de amônio	Muito solúvel	Solo adubado ou contaminado.

FONTE: BAUER (2001)

Em suma, a eflorescência é uma manifestação patológica que representa a formação de depósitos salinos na superfície dos revestimentos, alvenarias, pisos, tetos, concreto, argamassas, etc., que se deve a exposição a água de infiltrações ou intempéries (SOUZA, 1998). A figura 5 mostra o efeito da eflorescência na alvenaria.

Figura 5 - Eflorescência na alvenaria de bloco cerâmico



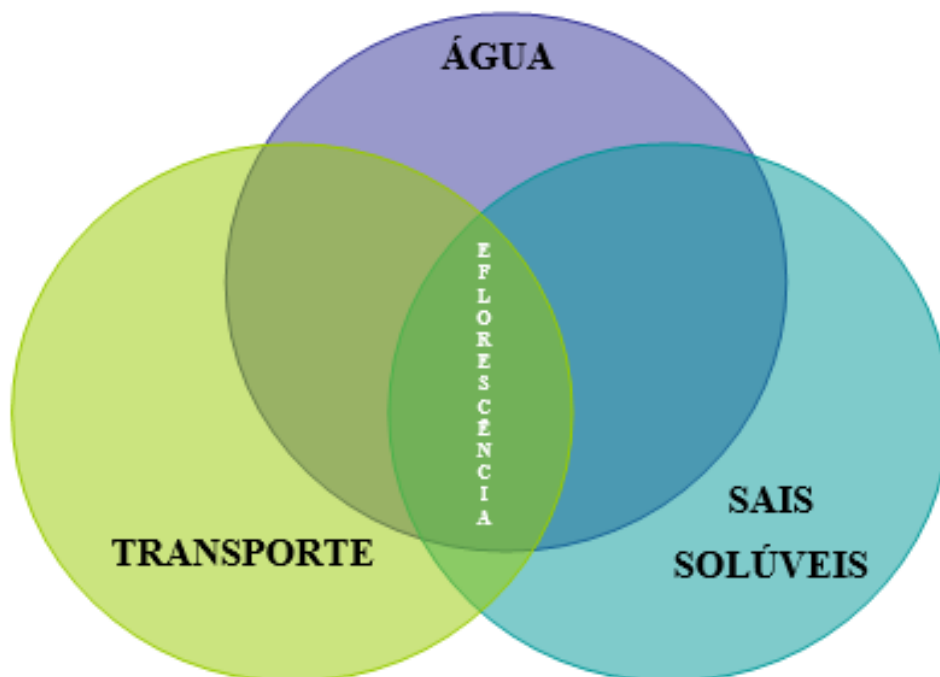
FONTE: <https://souzafilho.com.br/blog/posts/eflorescencia>. Acesso: 10/03/18

Vários estudos apontam que para a eflorescência ocorrer devem existir as três condições citadas a seguir:

- Presença de sais solúveis contidos nos materiais ou componentes;
- Presença de água;
- Pressão hidrostática suficiente para que a solução chegue a superfície.

No estudo de Barzaghi (1983), ele levanta essa ideia que para que surja a eflorescência, deve existir ao mesmo tempo: soluções solúveis (sais solúveis), água e o transporte (capilaridade) dessa solução até a superfície. Ele complementa seu estudo atribuindo a complexidade do fenômeno ao significativo número de possibilidades, em relação a presença de água e sais solúveis como condicionantes do problema. A figura 6 ilustra essa ideia.

Figura 6 - Fatores contribuintes para formação da eflorescência.



FONTE: autoria própria.

Assim sendo, evitando uma das condições acima, teremos a não ocorrência da eflorescência.

Na atualidade, como medida paliativa ao fenômeno eflorescência, é prática comum o uso de hidrofugantes. A sua utilização é onerosa, motivo responsável por parcela significativa da população em não aplicar nas construções, já que eleva em 25% o custo final do produto. A ação do hidrofugante é sobre o substrato (ex: material cerâmico) que age no intuito de eliminar um condicionante do mecanismo da eflorescência, que é o transporte (capilaridade). A durabilidade do produto hidrofugante é discutida, já que na literatura não mostra efeito do produto com prazos prolongados (MONTEIRO, 2009).

Nas pesquisas desenvolvidas por Suassuna (1996), ele expõe a importância da qualidade da água dentro do contexto do fenômeno da eflorescência, pois considera a água como fator mais importante no processo da salinização. A presença de sais nas águas usadas para fabricar materiais de construção da região Nordeste, pode ter correlação com a natureza e o tipo de solo com o qual elas têm contato.

Na literatura encontra algumas teorias para explicar a origem de sais no solo. Vieira (2011) relata em suas teorias que o sal das rochas formadas por sedimentação marinha podem ser lixiviados pela água da chuva e transportado para as depressões. Como também, ele expõe que a água do mar levemente vaporizada pela força da arrebentação ao longo de costas áridas

acontece devido às pequenas gotas secarem e formarem um pó salgado, que em seguida, penetra no solo através da chuva. Somado a isso, tem a influência do clima, que no caso do semiárido nordestino, tem um regime irregular das chuvas, o que acarreta para essa região uma situação bastante vulnerável a salinização.

Vale ressaltar, que as águas que contribuem para a ocorrência do fenômeno eflorescência, são originadas das águas subterrâneas; da água de chuva, que infiltrou na construção por meio das alvenarias, aberturas ou fissuras; da ruptura de tubulações de água, esgoto ou águas pluviais; da água utilizada na limpeza e de uso constante em determinados locais.

As eflorescências alteram a aparência da superfície do substrato em que elas ocorrem, e em algumas situações, os sais formados podem ter um grau de agressividade que cause uma desagregação profunda. Assim, além do dano estético, as eflorescências podem causar sérios danos a durabilidade e resistência das peças (BAUER, 1996). A figura 7 mostra o efeito da eflorescência bem acentuada.

Figura 7 - Eflorescência acentuada na alvenaria



Fonte: SILVA (2011)

2.2 ARGAMASSA

As argamassas comuns são compostas dos materiais cimento, areia, água e, em alguns casos, de outros materiais como a cal, caulim, saibro, etc; que na forma técnica, a argamassa é composta do aglomerante juntamente com agregado graúdo e a água. Havendo o uso ou não

de aditivos para proporcionar o melhoramento de algumas propriedades/características. Quanto a utilidade, as argamassas são preparadas para assentar tijolos e blocos, ladrilhos, azulejos, cerâmicas; para impermeabilizar superfícies; regularizar paredes, pisos e tetos; garantir acabamentos às superfícies (lisa, rugosa, áspera, entre outras) (SOUZA, 2008).

Na classificação das argamassas, elas podem ser agrupadas de várias formas. Uma forma é segundo a finalidade, que subdivide em: argamassas de assentamento e argamassas de revestimento. As de assentamento são utilizadas para unir blocos ou tijolos das alvenarias, como também para colocação de azulejos, cerâmicas, tacos, ladrilhos. Já as argamassas de revestimentos são aplicadas na forma de chapisco, emboço e reboco (SOUZA, 2008).

O aglomerante cimento é um material altamente consumido na elaboração tanto das argamassas, como também do concreto. Buscando quantificar essa informação, em 2015, o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento – SNIC registrou no seu banco de dados, que no Brasil aconteceu uma produção de mais de 65 milhões de toneladas de cimento. Em posse desse quantitativo, percebe-se o quanto o cimento implica na economia brasileira.

Para obter uma argamassa com as características necessárias para o atendimento das especificações de uso, vai depender de uma correta hidratação da pasta de cimento, pois, a hidratação pode influenciar na microestrutura e nas propriedades físico-químicas da argamassa (RECENA, 2002).

Uma das principais características mecânica do concreto é a resistência à compressão simples, onde a relação água/cimento (a/c) é o principal fator para a variação desse índice. Quanto maior for a quantidade de cimento nessa relação, maior será a resistência mecânica. Com relação a durabilidade, existe uma variabilidade maior de fatores que possa ocasionar uma alteração nesta característica. Dois principais fatores são o local onde a construção está inserida e como será mantido, além de outros fatores que também podem interferir como a porosidade, processo de adensamento e cura. (RECENA, 2002).

2.2.1 Estado Fresco

a) Massa específica e teor de ar incorporado:

A massa específica refere-se à relação entre massa da argamassa e o seu volume, podendo ser de dois tipos, a absoluta e relativa. A absoluta não considera os vazios existentes, e a relativa, conhecida também por massa unitária, considera os vazios existentes no volume

da argamassa. A massa específica tem importância na dosagem, na conversão do traço de massa para volume, que são fundamentais para a produção das argamassas (GOMES, 2013).

O aumento da massa específica da argamassa é inversamente proporcional ao do agregado miúdo. Isso é explicado pelo fato que haverá maior consumo de aglomerantes para preencher os vazios da fração inerte do agregado (CINCOTTO, 1999).

O teor de ar incorporado trata-se do ar presente no volume da argamassa. Sendo que aumentando a quantidade de ar incorporado, diminui a massa específica relativa. A quantidade de ar no volume de argamassa pode ser aumentada através de aditivos incorporadores de ar. Porém, esse incremento deve exigir bastante cuidado pois, interfere em propriedades como resistência mecânica e aderência (GOMES, 2013).

Ressalta-se que as propriedades de teor de ar e massa específica afeta outras propriedades da argamassa. Por exemplo, uma argamassa com menor massa específica e maior teor de ar, terá melhor trabalhabilidade.

b) Trabalhabilidade

Trata-se de uma propriedade que é analisada por critérios qualitativos, ou seja, uma argamassa será considerada trabalhável como por exemplo: a colher de pedreiro penetrar facilmente na massa preparada, sem ser fluida; apresentar coesão no transporte; não aderir na colher durante o lançamento ao substrato; se distribuir com facilidade preenchendo todos os vazios da base; não endurecer facilmente quando aplicada. Existem fatores que acarretam interferência na trabalhabilidade, pode-se citar as características dos constituintes da argamassa e as suas proporções (GOMES, 2013).

Mehta e Monteiro (1994) define a trabalhabilidade como sendo composta por pelo menos dois componentes principais. Uma é a fluidez, que representa facilidade em haver mobilidade na mistura dos materiais, e a outra é a coesão, que se trata da resistência ao efeito da exsudação ou à segregação. Já Carasek (2007) define a propriedade da trabalhabilidade como havendo a junção de outras como: a retenção de água, tixotropia, plasticidade, consistência, exsudação, tempo de pega e adesão inicial. E os fatores como: granulometria, tipo e teor de aglomerante, quantidade de água e forma dos grãos dos agregados, que irão influenciar nessas propriedades.

Para determinar a trabalhabilidade das argamassas, usam-se como parâmetros a consistência e a plasticidade, pois servem para quantificar a água necessária à mistura (JOCHEM, 2012). A tabela 3 mostra como os fatores que influenciam na consistência e plasticidade são no geral, os mesmos.

Tabela 3 - Fatores que influenciam na plasticidade e consistência.

FATORES INTERNOS	FATORES EXTERNOS
Teor de água muitas vezes definido em função da consistência necessária.	Tipo de mistura.
Proporção entre aglomerantes e agregados.	Tipo de transporte.
Natureza e teor dos plastificantes (cal, finos, etc.)	Tipo de aplicação no substrato.
Distribuição granulométrica, forma e textura dos grãos do agregado.	Operações de sarrafeamento e desempenho.
Natureza e teor de aditivos.	Características do substrato: tipo de preparo, rugosidade, etc.

FONTE: BAUER (2005).

A consistência e a plasticidade estão interligadas. A consistência é vista como a propriedade das argamassas, que ao haver ação de cargas, possui maior ou menor capacidade de deformação. Já a plasticidade é a propriedade que a argamassa mantém a deformação após a retirada das tensões (CARASEK, 2007).

c) Retenção de água

Propriedade que representa a capacidade que a argamassa possui de manter sua consistência ou trabalhabilidade mesmo havendo perda de água por evaporação, sucção do substrato ou pela hidratação do cimento carbonatação da cal (CINCOTTO *et al.*, 1995).

Existem várias maneiras de elevar a retenção de água nas argamassas. Uma maneira é em aumentar a quantidade de materiais que tenham elevada superfície específica, como por exemplo o saibro e a cal. Esses materiais possuem partículas muito finas, gerando uma grande superfície específica, ou seja, uma área maior pra ser molhada, assim, aparecerá tensões superficiais que irão manter a água adsorvida nas partículas. Outra maneira é por meio dos aditivos retentores de água (ex: aditivos derivados de celulose) (BAUER, 2005).

No trabalho de Rosello (1976) ele aponta que as argamassas mantêm a água necessária para envolver as partículas dos aglomerantes e do agregado miúdo, e água em excesso é absorvida facilmente pelo substrato. Nos experimentos desenvolvidos por Carasek (1996), nos quais ele utilizou argamassas com diferentes retenções de água aplicadas em diferentes substratos, concluiu que as argamassas com menores capacidade de retenção de água produziam maior resistência de aderência nos revestimentos.

Nas argamassas de revestimento, a retenção de água influencia no tempo disponível de aplicação, regularização e desempenho da argamassa. No estado endurecido, a retenção de água afeta nos processos de hidratação do cimento e da carbonatação da cal que são os encarregados pela evolução do endurecimento da argamassa. Outro ponto importante, é que

por a retenção de água interferir na evaporação da água de amassamento, assim pode ser responsável pelo processo da retração por secagem (CARASEK, 2007).

d) Adesão Inicial

A adesão inicial deve-se a princípio as características reológicas da pasta aglomerante; a baixa tensão superficial da pasta, sendo função inversa do consumo de aglomerantes, é o que gera a aderência ao substrato, como também aos grãos do agregado miúdo (BREITENBACH, 2013).

e) Retração na secagem

A retração ocorre devido a evaporação da água de amassamento da argamassa, como também devido as reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. Ela pode gerar a formação de fissuras no revestimento, dependendo do grau dimensional da fissura pode ser prejudicial ou não. Pois, dependendo da fissura, pode ocorrer a facilidade da água percolar, interferindo na estanqueidade à água (GOMES, 2013).

Os fatores que contribuem para o surgimento das fissuras são: as características e a proporção dos materiais constituintes da argamassa; a espessura e o intervalo de aplicação das camadas; a tolerância ao tempo de sarrafeamento e desempenar. Sabe-se que as argamassas “ricas” em cimento estão mais propícias às tensões que geram as fissuras, trincas e aos deslocamentos. Em relação a espessura das camadas de argamassa, as espessuras maiores, que superam 25mm, estão mais sujeitas a retração na secagem e conseqüentemente a ocorrência de fissuras. Portanto, cabe seguir as orientações de aplicação das camadas de argamassa, como exemplo: se houver a aplicação de duas camadas, uma sobreposta a outra, é recomendável aguardar sete dias, no mínimo, entre as aplicações, pois esse intervalo já corresponde a ordem de 60% a 80% da retração da argamassa; outra questão é o tempo de sarrafeamento e desempeno, que não podem ser executadas com a argamassa estando muito úmida pois, pode acarretar no surgimento de fissuras e até mesmo o descolamento da argamassa (GOMES, 2013).

f) Reologia

Trata-se do estudo da deformação e do escoamento da matéria. Segundo Tanner (1998) a reologia serve para classificar os materiais, analisar seus comportamentos diante das tensões, relacionar estes comportamentos com a estrutura de cada material, como também em outros estágios de tensões, deformações, tempo e temperaturas.

2.2.2 Estado Endurecido

a) Aderência

A aderência pode ser definida como a habilidade que a interface substrato/argamassa tem de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem provocar rompimento (SABBATINI, 1984).

O autor Gomes (2013) define os fatores que determinam a aderência como sendo: as propriedades da argamassa no estado fresco; procedimentos de execução do revestimento; limpeza superficial da base, das suas características e da sua natureza. Já os autores Cincotto; Silva e Carasek (1995) definem que a aderência é influenciada pelas condições do substrato, como a porosidade, absorção de água, resistência mecânica, textura superficial e também pelas condições de execução.

No estudo de Pinto (1986, citado por Angulo, 2000) ele observa que a argamassa produzida com incremento de algum material reciclado, favorece na resistência à aderência à tração. Isso se deve ao fato dessas argamassas terem a característica de reterem muita água, dessa forma, ocorre uma melhor hidratação do cimento, e com isso, uma diminuição a retração e ao aparecimento de fissuras ao longo do tempo.

Em um edifício convencional, as bases de aplicação dos revestimentos de argamassa são: o concreto armado e a alvenaria de vedação. Na alvenaria de vedação existem os tijolos ou blocos, sendo os cerâmicos, sílico-calcário, concreto e concreto celular os mais utilizados. Sabe-se que a base de aplicação interfere nas propriedades do revestimento, sendo, fator determinante na definição da argamassa (GOMES, 2013).

b) Resistência mecânica

Capacidade de suportar as tensões mecânicas originadas da abrasão superficial, do impacto e da contração higroscópica. As variações na resistência decorrem do consumo e natureza dos materiais constituintes da argamassa (agregados e aglomerantes), como também da técnica de execução que responde pela compactação da argamassa na sua aplicação e acabamento. A resistência cresce com a diminuição da proporção do agregado, e é inversamente proporcional ao fator água/cimento (GOMES, 2013).

A importância da resistência mecânica para as argamassas deve-se a necessidade para suportar as movimentações do substrato, que são originadas de um recalque ou variação dimensional, umedecimento e secagem ou dilatação e contração do próprio revestimento, em decorrência das variações térmicas (TRISTÃO, 1995).

c) Permeabilidade

Trata-se da passagem de água pela camada de revestimento de argamassa, por ser um material poroso, acontece a percolação da água no estado líquido e no de vapor. Torna-se importante que os revestimentos sejam impermeáveis, estanques, para que fique cessante a passagem da água por percolação, mas, é bom que seja permeável ao vapor para facilitar a secagem da umidade decorrente da infiltração ou diretamente do próprio vapor de água (situação típica dos banheiros) (GOMES, 2013).

A relação do diâmetro dos poros com a capilaridade e permeabilidade, é explicada da seguinte maneira: se os diâmetros dos poros forem reduzidos, o material terá uma forte capilaridade e uma permeabilidade fraca e, se os diâmetros dos poros forem grandes, a capilaridade será baixa e a permeabilidade será grande. É importante frisar, que a medida que se reduz a relação a/c, vai se formando estruturas mais compactas (FERREIRA, 2000).

As causas que influenciam a permeabilidade são: a natureza da base; composição e dosagem da argamassa; técnica de execução; espessuras das camadas de revestimento e de acabamento. Destaca-se que a ação da permeabilidade se intensifica com a existência de fissuras no revestimento, pois dessa forma o caminho da percolação é direto até a base, o que gera o comprometimento da estanqueidade (GOMES, 2013).

d) Durabilidade

Reflete o desempenho da argamassa diante das ações do meio externo num intervalo de tempo. A fissuração; a espessura da camada de argamassa; a qualidade da argamassa; a ação dos microrganismos e a falta de manutenção corroboram de forma negativa na durabilidade.

A vida útil da construção e o ambiente ao qual ela está inserida caracteriza-se o que chamamos de durabilidade. Ao falar sobre essa propriedade, é que se engloba o assunto do reparo e manutenção predial, uma vez que, é estimado que do total de recursos da construção civil, 40% é destinado para reparar, corrigir as estruturas. E este assunto interliga a questão da sustentabilidade, tendo em vista o demasiado uso dos recursos naturais, os altos custos sociais e econômicos devido a falhas inesperadas, busca-se assim, materiais mais duradouros e que gerem menos problemas sócio-ambientais (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Já é sabido que tanto a argamassa como o concreto apresentam uma porosidade significativa, e que essa característica compromete a durabilidade do material. O elemento água é um agente facilitador da grande maioria das deteriorações, pois ele contribui para a ocorrência de diversos processos físicos nos poros e atua como transportador de íons, gerando

a degradação química. Caracteriza-se como efeito dos processos físicos, aqueles que envolvem desgaste superficial, exposição a altas temperaturas e a fissuração em decorrência da cristalização de sais. Como exemplo de efeitos químicos, tem a corrosão de armaduras, as reações expansivas devido a contaminação por íons cloreto e sulfato, dissolução da pasta devido exposição a solução ácida, e tem também a reação álcali-agregado (RAA). Estes efeitos não acontecem de forma isolada, normalmente ocorre de forma sobreposta, e dependem da permeabilidade do material, da concentração e do tipo de íons presentes e da composição química do sólido (BASHEER *et al.*, 2001).

e) Tixotropia

Essa propriedade está entrelaçada com a coesão, mas, de uma forma bem mais acentuada. As conhecidas argamassas tixotrópicas (ex.: argamassas de assentamento de peças cerâmicas e argamassas de recuperação) precisam de pouca energia para alterarem sua forma, que depois de alterada, se mantém inalterada mesmo havendo ação da gravidade. Com aditivos a base de polímeros e adições minerais (ex.: cinza volante, cinza da casca de arroz) ajuda-se a obter argamassas com características tixotrópicas (GOMES, 2013).

2.3 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS/MINERAIS NAS ARGAMASSAS

2.3.1 Questão ambiental

Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986), o impacto ambiental é definido como qualquer alteração nas características física, química e/ou naturais do meio ambiente, tendo como causador qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas, que interferem de forma direta ou indireta:

- a) A saúde, a segurança e o bem-estar;
- b) Atividades econômicas e sociais;
- c) O conjunto de plantas e animais de uma determinada área;
- d) As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- e) A qualidade dos recursos naturais.

A população mundial segundo o “United Nations Environment Programme” (1999) era um pouco mais de 2,5 bilhões em 1950, passou para quase 6 bilhões em 1999, e

juntamente a isso, a economia cresceu cerca de cinco vezes. Desta forma, os recursos naturais foram usados demasiadamente, ignorando o fato que são limitantes e que a natureza não absorve as mais variadas quantidades de resíduos que são gerados ilimitadamente. Assim, explica-se a necessidade de viabilizar formas de prevenção e de minimização dos problemas ambientais, como exemplo tem a reciclagem, que é uma das formas mais adotadas (LIDDLE, 1994, apud JONH, 2000).

A indústria da construção civil responde por uma grande parcela de consumo dos recursos naturais, como também aparenta o que mais tem capacidade de absorver os resíduos sólidos (ex: entulho). Assim, com o propósito de atender às exigências de manejo e do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, produzidos pelas mais diversas atividades dos ramos industrial e agrícola, que nos últimos anos estão sendo impulsionado devido a criação de leis ambientais, dos movimentos ecológicos, e das tarifas ambientais que estão substituindo as convencionais, implica no melhoramento do gerenciamento da extração dos recursos naturais, e atrelado a isso uma política de maior conscientização da responsabilidade de executar um trabalho a longo prazo, que preze pelo respeito ao meio ambiente e a sociedade (SOUZA, 2008).

O respeito ao meio ambiente fazendo uso equilibrado dos recursos naturais, e criando tecnologias que possibilitem a reciclagem de forma constante dos materiais utilizados na produção de bens de consumo, caracteriza o desenvolvimento harmônico e sustentável (CHIAVERINI, 1994).

2.3.2 Materiais pozolânicos na Construção Civil

Anos atrás, apenas a resistência mecânica era utilizada como parâmetro de qualidade dos materiais. As condições de agressividade as quais as construções estavam sujeitas, fez com que se buscasse o melhoramento nas propriedades dos materiais, chegando a desenvolver materiais com melhores resistências mecânicas, com melhor trabalhabilidade, e mais duráveis. (SILVA, 2006).

O estudo no melhoramento das propriedades a priori foi alcançado com o uso de materias/aditivos químicos, plastificantes. Porém, a partir da década de 70, a adição de materiais minerais como: sílica ativa, sílica da casca de arroz, cinza volante, *cinza da casca de arroz*, pó de calcário, metacaulinita e a escória de alto forno foram testadas e analisadas.

Esses materiais possuem uma granulometria inferior ao cimento e têm uma área específica elevada, o que tornam a zona de transição densificada, gerando assim uma microestrutura mais densa e com menor índice de vazios. Garantindo a elevação da impermeabilidade e da durabilidade (SILVA, 2006).

Dentro desse contexto, é importante mencionar as pozolanas. Segundo a NBR 12653 (1992) e ASTM C 618 (2008), pozolana é um material que tem pouca ou nenhuma propriedade cimentante, porém, quando finamente dividida e entra em contato com a água, reage com o hidróxido de cálcio do cimento durante o processo de hidratação dos minerais (formação dos silicatos) (SANTOS, 1997).

As pozolanas quando substituem o cimento Portland, tendem a aumentar a resistência mecânica do material. Pois a sua atividade provoca mecanismos que agem na microestrutura da pasta de cimento, interferindo principalmente na estrutura dos poros devido ao refinamento gerado pela reação pozolânica, e o tamponamento e obstrução dos poros, fissuras e vazios em virtude da porção fina dos grãos, que proporcionam um efeito fíler a mistura (RIBEIRO, 2005).

As adições minerais são adicionadas na preparação ou durante a mistura, essas adições possuem características pozolânicas e/ou cimentantes, e as quantidades variam entre 5 e 100% do peso do cimento. O seu uso pode acontecer substituindo parte do cimento, ou em percentuais variáveis em relação ao peso do cimento, fazendo acréscimo de aditivo superplastificantes (SILVEIRA, 1996).

Quanto a classificação as pozolanas podem ser classificadas como materiais naturais e como materiais artificiais. As naturais são as que não necessitam de tratamentos que passem por modificações químicas e mineralógicas, como exemplo: rochas vulcânicas, argilas calcinadas, terras diatomáceas. Já as artificiais são originadas de transformações químicas, como exemplo: cinza volante, escória de alto-forno, sílica ativa, cinza de casca de arroz (NBR 12653, 1992).

Nos dias atuais, a busca pelo desenvolvimento sustentável está crescente. A tecnologia está sendo usada para desenvolver materiais alternativos, e a indústria da construção civil está no destaque, transformando resíduos em subprodutos, ou seja, materiais que não tinham uma destinação apropriada, acabam tendo uma aplicabilidade. Desta forma, aquilo que antes era visto como um problema ambiental social, passa a ser qualitativo para a construção.

Em resumo, o uso dos resíduos, que no caso deste trabalho será a Cinza da Casca de Arroz (CCA), pode ser uma maneira de conduzir a uma finalidade notável, com benefícios para o meio ambiente, já que visa o aproveitamento de subprodutos poluentes.

2.3.3 Cinza da Casca de Arroz

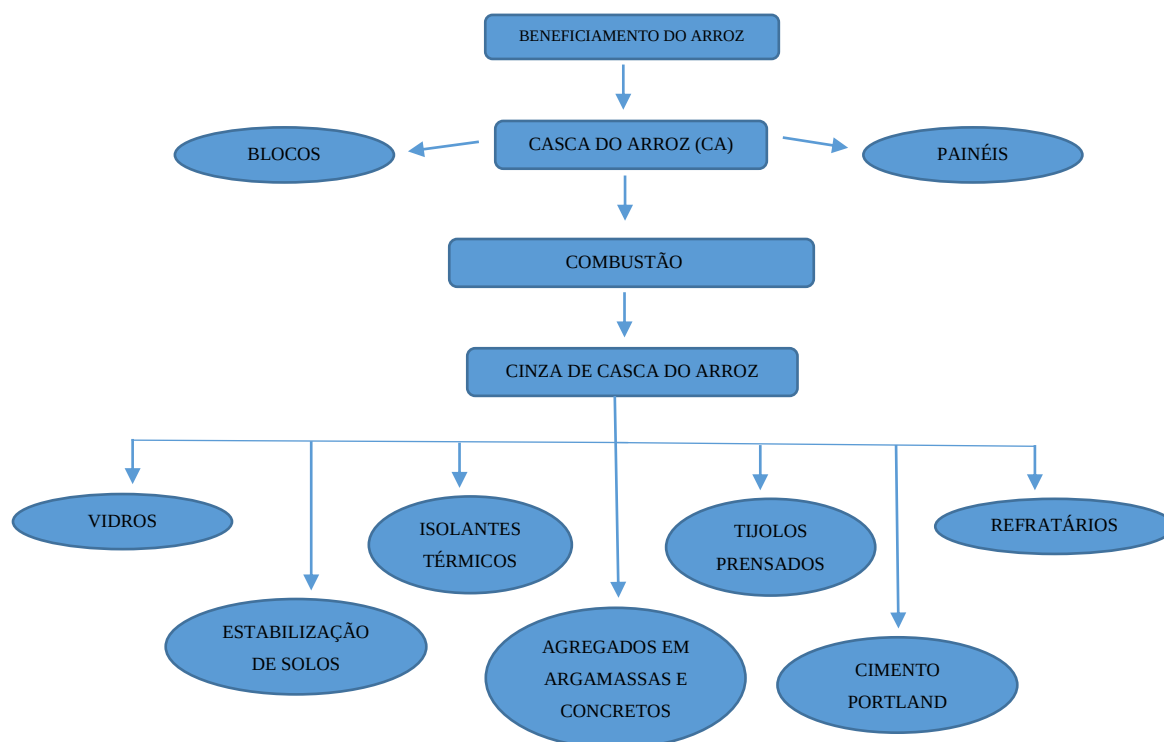
A cinza de casca de arroz (CCA) deriva das indústrias beneficiadores de arroz. A casca do arroz serve como fonte de combustível para o processo de secagem e parboilização dos grãos, e como subproduto dessa combustão, tem-se a cinza. Devido a crise energética, a casca tem sido utilizada como combustível (biomassa) nas usinas termoeletricas, sendo assim uma forma alternativa e eficiente na geração de energia elétrica, e consequentemente diminuindo a alta dependência nacional a energia proveniente das usinas hidrelétricas. Desta forma, são geradas CCAs tanto sem controle da temperatura, a residual, como com controle da temperatura. O resíduo da casca de arroz é considerado por ser de grande geração, e que não tem uma destinação, e nem uma deposição final adequada, sendo um grave problema ambiental (BARBOSA, 2006).

O estado do Rio Grande do Sul é um dos maiores produtores nacionais de arroz e, segundo dados do IBGE (2006), a produção de arroz no país foi estimada em 11.535.816 toneladas. Considerando-se que a casca equivale a 20% do grão em peso, e que após a sua combustão completa, se obtém em média 20% de cinza, estima-se que a quantidade de 461.432 toneladas deste resíduo serão geradas na safra de 2006 no país (BARBOSA, 2006).

Em decorrência dessas quantidades, a casca de arroz e sua cinza vem sendo objeto de vários estudos, no intuito de aproveitar esse resíduo e amenizar os problemas sociais e ambientais causados. E os estudos tem apontado soluções para a utilização deste subproduto, principalmente para a indústria da construção civil. Como exemplos de trabalhos desenvolvidos, têm-se os trabalhos dos pesquisadores: Silveira (1996), Rêgo *et al.* (2002), Dafico (2001).

No trabalho desenvolvido por Malhotra & Mehta (1996), eles desenvolveram um organograma mostrando as utilidades da cinza de casca de arroz. Conforme mostra a figura 8:

Figura 8 - Organograma das utilidades da casca de arroz.



Fonte: Malhotra & Mehta (1996)

No processo de produção do arroz, ele é descascado e sua casca torna resíduo. A destinação desse resíduo é causadora de sérios problemas ambientais, pois, não tem um fim apropriado.

A casca de arroz é constituída por 40% de celulose, 30% lignina e 20% de sílica, o que a define como sendo de baixo valor nutritivo, portanto não é utilizada como alimento para os animais. Apesar de ter 40% de celulose, a casca não é usada na indústria de papel devido a existência em boa quantidade de lignina. E após a queima não possui finalidade agrícola ou industrial, por a cinza conter basicamente sílica. Assim, essa cinza tornou-se atrativa por a sua sílica ser reativa, sendo ideal na produção do concreto (SILVA, 2006).

A CCA pode servir como estabilizador físico-químico de solos arenosos. Em um trabalho desenvolvido, foi testado a substituição parcial do cimento Portland pela CCA, e constatou nos resultados que diminui bastante a perda da resistência com a demora na compactação do solo (BASHA, *et al.*, 2005).

Na fabricação dos materiais cimentícios, a CCA é bastante atrativa, e se houver uma queima controlada da casca, eleva-se mais ainda sua atividade pozolânica. Dentre os materiais pozolânicos, nenhum outro supera a cinza da casca de arroz, nem mesmo a sílica ativa, na

questão de aumento da resistência mecânica nos períodos iniciais, como 1 e 3 dias. Isto favorece o uso das pozolanas (cinzas) nas misturas do concreto (MEHTA, 1992).

Quando se fala na constituição do arroz e sua casca, sabe-se que o arroz possui grandes quantidades de silicatos, e que existe grande concentração na casca. A casca é formada por 40% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica (MEHTA & PITT, 1974). A existência da sílica vem do solo, ela é transportada por dentro da planta como ácido monossílico, que se concentra na casca e caule da planta devido à evaporação da água, em seguida passa por polimerização para formar a membrana sílico celulósica (HOUSTON, 1972).

Ao ser submetida à combustão, 20% da casca é transformada em cinza, podendo a lignina e a celulose serem removidas. A casca de arroz quando sofre a combustão, 20% da casca é convertida em cinza, sendo que a lignina e a celulose podem ser removidas, restando apenas uma grande quantidade de sílica (em torno de 95%), e essa quantidade pouco varia se o tipo de queima for modificado, pois a mudança no intervalo de tempo de queima e a temperatura a qual for submetida irá interferir apenas na estrutura, podendo ter forma polimórfica (estruturas cristalinas diferentes: quartzo, tridimita e cristobalita) e amorfa (vítrea). Se a temperatura de queima da cinza for baixa, ou o tempo de exposição a altas temperaturas for pequeno, a sílica presente na cinza será amorfa, ou seja, menos tempo de exposição com elevada temperatura, menos cristalização (DELLA, 2001). Importante destacar que a estrutura da cinza é uma estrutura celular, porosa e com alta superfície específica (50 a 100 m²/g).

Diversos estudos de autores como Metha, Pitt (1976) e Silveira (1996) mostram que a cinza quando fica submetida a uma temperatura entre 450 e 500°C, a sílica presente nessa cinza está na fase amorfa. Quando a temperatura se eleva a 600°C, aparecem fases cristalinas, e quando a temperatura ultrapassa 800°C forma-se sílica cristalina. O desempenho no concreto da cinza gerada num processo controlado (amorfo) pode ser superior ao da cinza residual (cristalina), que não tem controle da queima (POUEY & DAL MOLIN, 2002).

Além da temperatura influenciar na pozolanicidade da CCA, a concentração da sílica, a área superficial elevada e diâmetro médio, que geralmente é inferior a 45 µm e que varia de acordo com a moagem, afetam no grau pozolânico da cinza. Quando a temperatura a qual a cinza fica submetida é elevada, ela apresentará área superficial pequena, e isso decorre do fato que a temperatura funde as partículas, e elas se agregam umas às outras. Por esse motivo, para haver uma melhor atividade pozolânica, deve-se submeter a cinza num processo de moagem para deixar o material mais fino (SILVA, 2004).

Um outro fator influente na qualidade da CCA está relacionado com o teor de carbono, os quais também dependem do processo de combustão. Quanto a cor da cinza, pode ser: preta, cinza e branco rosado. E essas cores vão ser determinadas em acordo com o processo de combustão e as transformações estruturais que acontecem no material diante da variação da temperatura. A coloração mais escura, mais presença de carbono (mais matéria orgânica não queimada), quando mais esbranquiçada indica completa oxidação do carbono (BARBOSA, 2006).

Santos (1997) desenvolveu vários experimentos com uso das cinzas de casca de arroz residuais, modificando os tipos de queima, sem controle de temperatura e tempo de exposição, verificando assim alterações nas características das cinzas; como também, modificando os tempos de moagem, percebeu que as superfícies específicas variaram. Então, concluiu que cada CCA submetida a um processo de queima tem seu tempo de moagem ótimo para se ter uma melhor pozolanicidade e resistência à compressão (estudo em argamassa). Quanto maior foi o tempo de moagem adotado melhores resultados foram alcançados, e que o melhor incremento de cinza foi de 15%, essa porcentagem representou o maior ganho de resistência à compressão da argamassa.

Silva (2004) também realizou um estudo com a cinza, e analisou os parâmetros: tempo de moagem e quantidade de cinza acrescentada na mistura. E teve como considerações finais que o tempo de moagem ótimo foi de trinta minutos, superior ou inferior a esse intervalo apresentou resultados baixos. Sobre a quantidade de cinza, verificou que os melhores resultados de resistência a compressão foram dentro de 5% e 10% de teor de cinza.

Quanto maior o tempo de moagem, mais aumentará a superfície específica do material. Um certo tempo de moagem, mesmo que cresça a superfície, isso implicará na resistência a compressão, havendo diminuição, apresentando assim, melhores resultados nas amostras de cinza com o diâmetro médio em torno de 7 a 8 microns (PAYÁ et al., 2000).

Outro estudo realizado utilizando a cinza de diâmetro médio de 15,19 microns, e gerada da queima sem controle de temperatura, Rêgo et al. (2002) alcançou neste estudo um índice de pozolanicidade de 85%. E frisou que tanto a finura quanto a amorficidade são importantes para a reatividade da cinza.

2.3.3.1 Influência do tempo da moagem da CCA ao índice de atividade pozolânica

Vários fatores influenciam na qualidade da cinza, como por exemplo: o tipo da cinza, o tempo de queima, o tempo de moagem. O tempo de moagem interfere nas propriedades físicas da cinza, como a superfície específica e a finura, que são propriedades que ajudam a definir o desempenho da trabalhabilidade.

No trabalho feito por Guedert (1989), ele fez a análise das superfícies específicas e pozolanidades nos intervalos de tempo de 1, 2, 4 e 8h, e obteve como resultados que a medida que o tempo de moagem aumentava, a superfície específica e pozolanidade aumentava também.

Bui e outros (2005) realizaram um trabalho tendo a variável do tempo de moagem, o qual variou de 3 a 70 minutos. Após as análises, eles concluíram que a superfície específica das amostras ascenderam até o tempo de 30 minutos, após este tempo houve diminuição.

Os resultados do trabalho de Santos (2003) estão mostrados na tabela 4, conforme percebe-se, a superfície específica foi aumentada à medida que se aumentou o tempo de moagem. Enquanto a pozolanidade aumentou até 4 horas, e em seguida decresceu. Assim, a autora defende que existe um tempo de moagem ótimo para que a CCA atinja uma máxima pozolanidade. E após atingir esse tempo ótimo, a superfície específica cresce de forma acentuada, o que pode prejudicar na dispersão da pozolana na argamassa. Entretanto, pode acontecer de o tempo de moagem ótimo ser bastante elevado, o que acarreta em um grande consumo de energia, dando inviabilidade ao processo.

Tabela 4 - Influência do tempo de moagem na superfície específica e pozolanidade da CCA.

Tempo de moagem	15min	30min	1h	2h	4h	6h	8h	10h	20h
Superfície Específica Blaine (m²/Kg)	827	1087	1376	1604	1614	1772	2275	2589	2899
IAP (%)	62	83	106	113	126	123	119	118	115

Fonte: SANTOS (2003)

Bui et al (2005) realizaram pesquisa utilizando a cinza sendo adicionada ao concreto, fazendo a variação da finura do cimento. Assim, concluíram que para se ter bons resultados na resistência à compressão simples, a finura da cinza deveria ser equivalente a finura do cimento utilizado, ou seja, os tamanhos médios de ambas partículas devem ser distintos a fim de se ter um aglomerante bem graduado, bem empacotado.

2.3.4 Adição de CCA x Propriedades das Argamassa e Concreto

A visibilidade dada a casca de arroz é a de ser tratada como um dos resíduos mais plurivalente, que para ter ideia serve até de aglomerado para produzir chapas de madeira, chapas por sinal de baixo custo e alta qualidade. Além disso, tem a sua aplicabilidade nos compostos de argamassa e cimento para a fabricação de pré-moldados, estabelecendo uma redução de até 30% do custo da construção de casa populares (PINHEIRO, 2007).

Após diversos trabalhos desenvolvidos utilizando a casca de arroz, tendo como objetivo checar suas propriedades, reações/comportamentos, descobriram que trata de um resíduo apropriado para obter materiais de construção. Na adição da casca de arroz ao cimento Portland, comparada a outras biomassas vegetais, ela apresenta uma significativa leveza e boas características de isolamento termo acústico. Para ter ideia a massa específica aparente do material é da ordem de 1.850 Kg/m^3 (variando de acordo com o traço adotado) e a resistência à compressão simples situa-se em torno de 9,0 MPa (ZUCCO, 1999; BERALDO e TOJAL, 2001).

Em um estudo desenvolvido por Martinez et al (2005), utilizou a casca de arroz na fabricação de painéis de fechamentos verticais para serem utilizados em habitações populares. Foram verificadas as propriedades físicas e mecânicas, e conclui-se que havia viabilidade técnica e ambiental no produto fabricado. Assim, garantiu-se a redução de impactos ambientais, ao mesmo tempo que criou uma solução alternativa na habitação popular.

Em relação ao concreto, sabe-se que a adição ou substituição da cinza no cimento interfere em suas propriedades e no desempenho. Os estudos desenvolvidos têm apresentado resultados satisfatórios em relação as propriedades do concreto, evidenciando qual seria o melhor teor de cinza acrescida na mistura. As propriedades que sempre são mais investigadas, analisadas quando existe a presença da CCA no concreto são: resistência mecânica e durabilidade. Que com os estudos desenvolvidos até aqui, foram as propriedades mais beneficiadas com a adição da CCA no concreto. E isso é explicado pelo efeito químico proporcionado pela pozolana, como também pelos efeitos físicos ocasionados pelo diâmetro das partículas, que contribuem na resistência mecânica, permeabilidade, no grau de hidratação, na resistência à fissura por variação de temperatura, na expansão álcali-agregado, no ataque aos sulfatos, dentre outras (BARBOSA, 2006).

Na intenção de analisar a propriedade resistência a compressão, Hoppe e outros (2005) desenvolveram um estudo da adição da CCA no concreto e fez seu comparativo nas idades de 28 e 91 dias. Adotaram a proporção de água e aglomerante os valores de 0,35, 0,50 e 0,60, e

os teores de CCA para cada proporção dessa, foram, respectivamente: 10%, 20% e 30%. Para a mistura de referência a proporção a/ag foram 0,35, 0,50 e 0,65, e nos resultados obtidos para a resistência a compressão, da idade de 28 para 91 dias, a resistência foi acrescida na porcentagem de 26%, 9% e 27%, respectivamente. Partindo para análise das adições de CCA ao concreto, para o teor de 10% foram de 12%, 32% e 22%, já para a substituição de 20% os acréscimos foram de 19%, 20% e 26%, e para o teor de 30% foram de 17%, 30% e 25%.

Já nos estudos de Ribeiro et al. (2005), adicionaram a cinza da casca de arroz gerada de uma queima que não teve controle na temperatura, esta CCA entrou na mistura do concreto substituindo parte do cimento, e propósito desse estudo foi de testar a resistência à compressão. As relações de água/cimento foram 0,4 e 0,5, e as porcentagens incrementadas da CCA em substituição de cimento foram de 5% e 10%. Os resultados foram significativos, a resistência à compressão foi aumentada com os teores de CCA.

Houve um trabalho de Tashima et al. (2004) que foi utilizada a cinza residual amorfa no concreto, nas porcentagens de substituição 5, 10 e 15%. E os melhores resultados apresentados quanto a resistência à compressão foram com o teor de 5% aos 28 dias, havendo um aumento na resistência de 24%. Os autores propuseram que a partir de 10% de adição da CCA, havia queda nos valores de resistência à compressão.

No trabalho de Hasparyk et al. (2003) foi analisado a influência da CCA no seu estado moído e no estado natural quando adicionada ao concreto, dando destaque a propriedade da resistência à compressão. As quantidades adicionadas foram de 8%, 10%, 12%, 16% e 20%. Os resultados apontaram que os concretos com a CCA moída tiveram resistências maiores ao de referência e que os concretos com CCA natural em idades avançadas, sendo os teores de 10% e 16% os que apresentaram os maiores ganhos de resistência aos 91 dias, havendo um ganho de 14% superior à amostra de referência. Os concretos que tiveram a adição da cinza no estado natural tiveram redução na resistência à compressão quando comparado com o concreto de referência e com as CCA moída, alcançado em alguns casos até a 26% de redução.

Costenaro (2003) realizou o trabalho de comparar o efeito de três diferentes adições minerais no concreto, que foram: sílica de casca de arroz (SCA), sílica de ferro-sílico (SFS), cinza de casca de arroz (CCA). Os traços água/aglomerante foram: 0,28, 0,38 e 0,48; e adição que substituiu a quantidade de cimento foi de 10%, além da combinação das duas pozolanas em proporções: 5% SCA + 5% CCA. Os resultados obtidos quanto a relação água/aglomerante, apresentou um crescimento lento nas primeiras idades, após os 28 dias até os 91 dias de idade, houve aumentos de 20% a mais, demonstrando assim que as reações

pozolânicas necessitam de um tempo maior para que ocorram. Tratando-se dos concretos de alta resistência, com a relação a/agl mais baixa, o comportamento na resistência foi diferente, pois aos 3 dias o aumento foi de 70% a mais comparado a idade de 28 dias, e após os 28 dias foi menor que os valores do concreto convencional.

Rêgo (2002) utilizou a CCA residual no seu estudo, os teores usados foram 0, 5, 10 e 20% substituindo na quantidade do cimento. Obteve como resultado a resistência à compressão sendo aumentada com todos os teores adotados, isso comparado com o concreto de referência, o teor de 10% apresentou o melhor resultado, a resistência chegou ao aumento de 20%, aos 63 dias. Na idade de 28 dias, constatou aumentos nos teores de 10% e 20%, comprovando que as reações pozolânicas necessitam de um tempo maior para se desenvolverem.

No estudo de Nascimento et al. (2002) utilizaram os teores de 5% e 10% em substituição ao cimento, e ao fazerem comparativos com os concretos de referência perceberam aumentos nos valores da resistência à compressão, como também com o incremento da CCA houve maior perda de massa no concreto, a perda era maior quanto maior fosse o teor da cinza na mistura. Assim, os autores concluíram que as reações pozolânicas ocorrem geralmente em idades superiores a 28 dias, e que a menor quantidade de cimento hidratado não foi compensada pelo efeito microfíler das partículas finas da cinza.

No trabalho de Sensale e Dal Molin (2001) foi analisado a influência da adição de dois tipos de cinza ao concreto. Uma cinza com estrutura amorfa proveniente dos Estados Unidos, e outra cinza sendo residual proveniente do Uruguai, os teores adicionados foram de 10 e 20%. Os autores tiveram como resultados que a cinza amorfa apresentou melhor desempenho com 20% de substituição do cimento, enquanto a cinza proveniente do Uruguai teve seus valores de resistência baixados ao aumentar a quantidade do teor da cinza. Mas, as dosagens da cinza residual quando feito o comparativo com o concreto referência, tiveram melhor desempenho.

Em um estudo foi objetivo analisar a influência da adição da cinza, como também a influência da relação água/aglomerante. As adições da cinza foram: 10, 15 e 20%; e as proporções a/agl foram: 0,30, 0,32 e 0,40. E os resultados apresentados mostraram que todos os teores foram mais significativos que os traços de referência, que o melhor resultado foi o da dosagem maior, com menor relação água/aglomerante e maior quantidade de superplastificante (BUI e STROEVEN, 2005).

Até este momento foi dado mais menção a propriedade resistência à compressão, mas, estudos apontam que devido a sua composição, constituição e proporção em cimentos para

argamassas e concretos, a cinza da casca de arroz pode influenciar além da resistência, influe também na exigência e retenção de água, na retração, na fissuração, fluência do concreto, durabilidade frente ao ataque de agentes químicos. Portanto, torna necessário no estudo da reatividade do material, estudar os fatores ligados à composição química, física e mineralógica do material. Vale salientar que deve-se dar uma atenção diferenciada a CCA residual, nos seus processos de queima, temperatura, exposição e moagem (SANTOS, 1997).

Em um estudo sobre a adição da CCA na pasta de cimento e no concreto, foram analisadas a resistência à compressão e zona de transição pasta-agregado. Nos resultados se constatou que não houve aumento de resistência na pasta com CCA. Já no concreto aconteceu diferente, pois a incorporação da CCA leva a uma redução da porosidade e na formação de Ca(OH) na zona interfacial, o que diminui a sua espessura. A presença de CCA na pasta de cimento diminui a quantidade de partículas de cimento hidratado, possivelmente por causa da aceleração da sua hidratação (ZHANG et al., 1996).

Uma forma de testar a durabilidade do concreto tendo a adição da CCA, é realizando o ensaio de permeabilidade. Em um estudo foi verificado a permeabilidade ao ar do concreto com a CCA amorfa e também com a CCA cristalina. Os resultados do ensaio indicaram baixo grau de permeabilidade em relação ao concreto de referência, o pesquisador acredita que as CCAs geram influência do efeito filer e das reações pozolânicas, o que justifica o concreto com CCAs apresentar baixa permeabilidade. Além disso, nos resultados pôde perceber que o concreto com cinza amorfa comparado com o concreto da cinza cristalina, teve menor permeabilidade (SENSALE, 2006).

Quanto a resistência à abrasão, no estudo de Nascimento et al. (2002) foi realizado os ensaios nas dosagens de 0%, 5% e 10% de substituição de CCA no cimento, e proporção água/aglomerante de 0,5 e 0,6. Constataram nos resultados que em ambos traços houve aumento de perda de massa em todas as idades, isso sendo comparado com o concreto de referência (0% de substituição). A proporção da perda de massa seguiu de acordo com o aumento do teor de substituição.

No estudo desenvolvido com o intuito de saber o efeito da CCA no concreto quanto a reação álcali-agregado, teve como resultados que os teores de CCA moída acima de 12%, as expansões podem ser reduzidas a níveis aceitáveis de norma (HASPARYK, 2003). Já na CCA in natura, para acontecer as reduções das expansões são necessários teores mais elevados (20%) (HASPARYK, 1999).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos desenvolvidos nesta pesquisa têm o propósito de apresentar resultados ao comportamento das argamassas diante da adição da cinza da casca de arroz. O objetivo central está relacionado as propriedades mecânicas, ou seja, resistência e durabilidade.

Em relação a propriedade da durabilidade, os ensaios foram os de absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão, e uma adaptação do procedimento criado por Salles Neto (2010) que determina de forma qualitativa e quantitativa o florescimento de sais.

Antes de confeccionar os corpos de prova, foram feitos os ensaios de caracterização dos materiais utilizados, ensaio de consistência para determinar a dosagem adequada.

As variáveis adotadas nos ensaios foram: o tempo de cura e a porcentagem de substituição da cinza ao cimento.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 Cimento

Foi utilizado cimento Portland CP V ARI RS da empresa MIZU, situada em Baraúna-RN. Trata-se de um cimento de alta resistência inicial, apresenta alta reatividade em baixas idades devido ao grau de moagem a que é submetido. O clínquer é o mesmo utilizado na fabricação do cimento convencional, porém permanece no moinho por um tempo mais prolongado. A resistência vai aumentando ao longo dos 28 dias, atingindo valores maiores que os demais, gerando assim maior rendimento.

O CP V ARI RS é bastante utilizado na produção industrial de artefatos, onde necessita de desforma rápida, concreto protendido pré e pós-tensionado, pisos industriais e argamassa armada.

Na composição não há presença de pozolana, fator que determinou a escolha, uma vez que o uso da cinza em substituição à parte do cimento tem este objetivo. O cimento foi adquirido na indústria, sendo todos os sacos de um mesmo lote, e acondicionado em sacos plásticos, para evitar seu envelhecimento/hidratação.

Tabela 5 - Resultados das propriedades físico-mecânicas-químicas do cimento

ENSAIO FÍSICO	RESULTADO FABRICANTE
Finura malha # 200	0,2%
Finura malha # 325	2,33%
Início de pega	130 min
Fim de pega	190 min
Massa específica real (g/cm ³)	3,04
Área específica (Blaine) (cm ² /g)	4501
ENSAIOS MECÂNICOS	RESULTADO FABRICANTE
Resistência 1 dia (MPa)	19,7MPa
Resistência 3 dias (MPa)	29,5MPa
Resistência 7 dias (MPa)	37,8MPa
Resistência 28 dias (MPa)	44,2MPa
ENSAIO QUÍMICO	RESULTADO DO FABRICANTE
Perda ao fogo	5,03%
Óxido de magnésio	4,33%
Anidrido sulfúrico	2,66%
Resíduo Insolúvel	1,71%
Anidrido Carbônico	-/-

Fonte: Empresa MIZU

3.1.2 Água

A água utilizada nos experimentos e confecções dos corpos de prova foi da rede de abastecimento público. Esta água tem seu tratamento físico-químico-biológico regulado pela companhia de águas e esgotos do estado, a CAERN.

Não foi realizado nenhum teste para verificar as propriedades e qualidade desta água. Como também não foi feito a adição de nenhum produto químico e/ou biológico. Foi usada conforme é servida pelo abastecimento público.

3.1.3 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi areia lavada, tendo sido comprada em uma loja de materiais de construção, advinda da cidade de Assú-RN, e em seguida, armazenada e devidamente identificada. Esta areia foi passada na peneira de abertura 4,8mm, sendo desprezado o material retido, com o intuito de diminuir a influência da zona de transição entre o agregado e a pasta (SOUZA, 2008). Após o peneiramento, a areia peneirada foi levada à estufa a uma temperatura de $\pm 60^{\circ}\text{C}$.

3.1.4 Aditivo Superplastificante

Os aditivos são elementos de grande importância na composição das argamassas, interferindo em suas propriedades no estado fresco e endurecido. Os dois maiores objetivos são: ampliar as qualidades das argamassas, ou minimizar seus pontos fracos. Eles são classificados em sais minerais, ácidos orgânicos, resinas, tensoativos, dispersantes, umectantes e emulsionantes. O uso de aditivo é mais comumente utilizado na obtenção de uma argamassa mais fluida ou na diminuição do fator água/cimento (GOMES, 2013).

Para melhorar a moldagem dos corpos de prova, foi utilizado um superplastificante para aumentar a fluidez da mistura da argamassa, e assim seria mantido a constância da consistência dos traços adotados sem haver prejuízo nas relações água/materiais. Desta forma, a trabalhabilidade será aumentada, o que é benéfico, já que a adição de CCA acelera o processo de hidratação da mistura.

O superplastificante foi cedido pela empresa BASF EB Construction BASF S/A e trata-se do MasterGlenium 51, que é uma solução líquida, de coloração âmbar, composta por policarboxilatos, que atuam como dispersantes do material aglomerante propiciando elevada redução de água. Na tabela 6 abaixo estão dados do certificado de qualidade encaminhado pela empresa.

Tabela 6- Características do superplastificante

<i>Característica</i>	<i>Unidade</i>	<i>Valor</i>	<i>Mínimo limite</i>	<i>Máximo limite</i>
<i>pH</i>	Adimen	5,67	5,00	7,00
<i>Densidade</i>	g/cm ³	1,062	1,055	1,085
<i>Teor de sólidos</i>	%	30,51	29,00	32,00

Fonte: Fabricante BASF EB Constrution BASF S/A

3.1.5 Cinza da Casca de Arroz (CCA)

A CCA empregada foi proveniente de uma indústria alimentícia Arroz Viajante, localizada na cidade de Morada Nova/CE, a qual foi armazenada e identificada para posterior uso nos traços da argamassa, em substituição à parte do aglomerante. A CCA é proveniente da queima em uma caldeira, que esta queima é resultante do processo produtivo da parboilização dos grãos de arroz. As figuras 8 e 9, apresentam a cinza no seu estado natural e no estado moído, respectivamente.

Importa frisar que a queima da casca de arroz não ocorreu em constante temperatura. A sua coloração tem um misto de preto com cinza esbranquiçado.

Após a coleta da CCA, a mesma passou por um processo de moagem no moinho de bolas, e o intervalo de moagem foi de 2h. O intuito da moagem foi para melhorar a capacidade da pozolanicidade presente na CCA, já que quando não há um controle na temperatura da queima, é importante que a cinza passe por uma moagem para que a reduza em um material mais fino (SILVA, 2004).

No trabalho de Duart (2008) ele fez o comparativo entre traços que tinham a adição de cinza no estado natural, e outros com a adição de cinza moída. Assim, chegou à conclusão que houve aumento de resistência nos CP's com cinza moída, e atribuiu esse fato a moagem que aumentou a finura das partículas da cinza, e consequentemente, aumentando a superfície específica. A superfície específica sendo aumentada, intensifica os espaços de nucleação, que gera C-S-H adicional mesmo os traços apresentando menor consumo de cimento.

Figura 9 - Cinza da casca de arroz (CCA)



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 - Cinza da casca de arroz (moída)

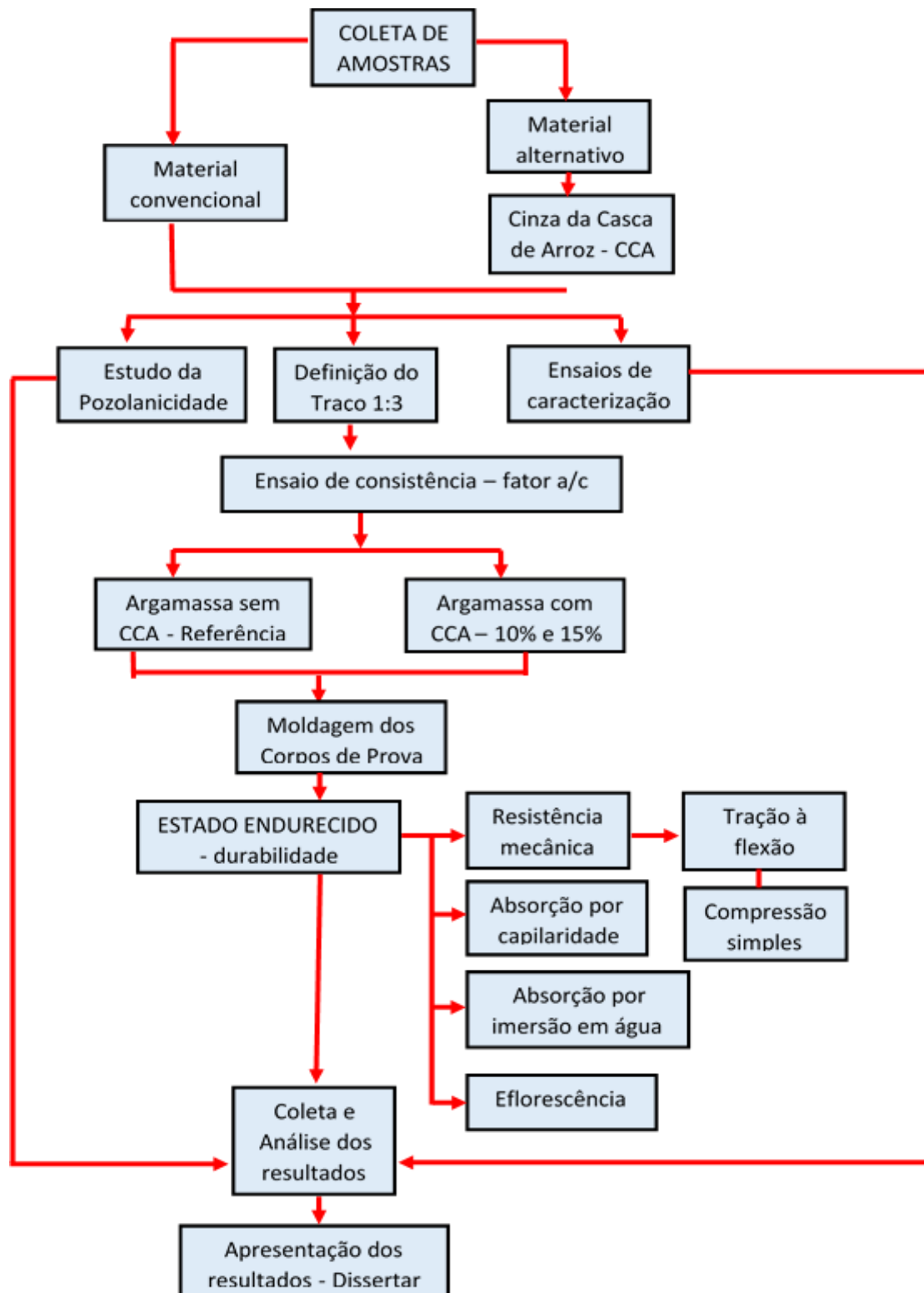


Fonte: Autoria própria

3.2 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

A figura 11 mostra o fluxograma com os ensaios realizados nesta pesquisa.

Figura 11 - Fluxograma dos ensaios realizados



3.2.1 Caracterização dos Materiais

3.2.1.1 Agregado Miúdo

Utilizou-se a areia natural, e assim realizou-se a caracterização do agregado miúdo segundo as normas da ABNT: a análise granulométrica do agregado miúdo - NBR 7217 (1987), massa específica aparente - NBR 7810 (ABNT, 1983).

3.2.1.2 Cimento

Empregou-se o cimento Portland tipo CP V ARI, cujas características físicas e químicas atenderam as especificações de cimento composto (NBR 11578/1991), através de dados fornecidos pela indústria fabricante, a Mizu, conforme estão descritos na tabela 2 acima.

3.2.1.3 Cinza da Casca de Arroz

Após a moagem da CCA, a mesma foi peneirada em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm), o material retido foi feito descarte. A caracterização teve início com a granulometria a laser. A etapa de caracterização foi determinada segundo as especificações da (NBR-12653/1992): a superfície específica.

3.2.2 Atividade Pozolânica

A atividade pozolânica serve para verificar o grau de pozolanicidade do material em estudo, e saber se ele pode substituir o cimento na mistura da argamassa. A cinza da casca de arroz foi avaliada juntamente com o cimento Portland e a cal, seguindo as recomendações prescritas na norma da ABNT NBR 5751 (2015). Realizou-se a moldagem dos CP's 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, seguindo o proporcionamento e as quantidades dos materiais determinada pela norma. A quantidade de água para a mistura teve que corresponder a um índice de consistência de $(260 \pm 5 \text{ mm})$ obtido no ensaio de abatimento, conforme prescreve a NBR 13276 (ABNT, 2016).

O resultado do ensaio de atividade pozzolânica com a cal de acordo com a NBR 5751 (ABNT, 2012) é obtido através da resistência à compressão simples após 7 dias de cura em ambiente com temperatura controlada. Este ensaio é uma medida direta do grau de pozzolanicidade através da determinação da resistência a compressão simples, conforme NBR 7215 (ABNT, 1996), utilizando corpos-de-prova de argamassas confeccionados com o material que se deseja verificar a atividade pozzolânica, neste caso a cinza de casca de arroz, cal, areia e água. Após o período dos sete dias de cura, acontece o rompimento dos corpos-de-prova, em seguida, calcula-se a resistência à compressão simples, que não pode ficar abaixo de 6,0MPa.

O outro ensaio é para determinar o índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Foi realizado de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2014), onde foram moldados corpos-de-prova com o cimento CP II – F – 32, que serão denominados de ARGAMASSA A, e moldados corpos de prova com o cimento mencionado acima mais 25% do material pozzolânico em estudo, que no caso é a CCA, e serão denominados de ARGAMASSA B. O resultado do índice de desempenho será a relação da resistência média da ARGAMASSA B com a resistência média da ARGAMASSA A, multiplicado por 100, já que o resultado é dado em porcentagem.

Ressalta-se que nestes ensaios para a determinação da pozzolanicidade, o tempo de moagem do material pozzolânico, a cinza da casca de arroz, foi de 2 horas. A tabela 7 a quantidade de corpos de prova (CP's) que foram moldados para realizar este ensaio.

Tabela 7 - Quantidade de CP's 50mmx100mm moldados para o ensaio de Índice de desempenho com o cimento, e atividade pozzolânica.

	Tempo de cura	Referência	Com CCA
Índice de desempenho com o cimento	28 dias	5 corpos de prova	5 corpos de prova
Subtotal			
TOTAL	10		

Fonte: Autoria própria.

3.2.3 Preparação das argamassas

Os corpos-de-prova das argamassas foram preparados no traço 1:3 (aglomerante: agregado miúdo: cinza da casca de arroz), um traço em massa, e o fator água/cimento foi determinado seguido o procedimento da norma NBR 13276 (ABNT, 2016).

O traço utilizado foi o mesmo para todos ensaios, mudando apenas a porcentagem de incorporação de CCA em substituição ao aglomerante, que foram: 10% e 15%. Havendo os CP's sem a adição da CCA (argamassas de referência) para servir de comparação nos resultados.

A cinza passou por um processo de moagem no moinho de bolas em um intervalo de 2 horas, e depois por peneiramento, utilizando a peneira nº 200 (0,074mm).

Após definição do traço, foi feito o índice de consistência das argamassas, e a moldagem dos CP's para serem utilizados nos ensaios.

3.2.4 Determinação da Consistência das Argamassas

Primeiramente na confecção dos CP's de argamassas foi determinado o índice de consistência, que se baseou pelos procedimentos prescritos pela NBR 13276 (ABNT, 2016) com o equipamento da mesa de consistência, também conhecida por flow table, conforme mostra a figura 12. O índice de consistência padrão é o de $260 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, sendo este o valor utilizado.

Figura 12 - Mesa de consistência (Flow-table)



Fonte: <http://www.solotest.com.br/> Acesso: 17/02/2018

O ensaio funciona da seguinte forma: é posto sobre a mesa de consistência um instrumento metálico denominado de tronco-cônico; dentro deste tronco são colocadas três camadas de argamassa de espessuras mais uniformes possíveis, na primeira camada com auxílio de um soquete são aplicadas 15 golpes sob a argamassa, na segunda camada mais 10 golpes, e na última camada 5 golpes; depois é retirado o excesso que fica sobre a mesa e que ultrapassa o limite do tronco-cônico; retira-se o tronco, e inicia o processo de espalhamento

através de 30 golpes em 30s, que são aplicadas a mesa de consistência através de uma manivela acoplada a mesa; com o auxílio de um paquímetro é feita a medida três diâmetros ortogonais da argamassa após a deformação, a média dessas três medidas será o índice de consistência padrão. Se o valor médio não atender a medida de $260 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, o ensaio deverá ser refeito, alterando o fator água/cimento. Assim, através desse ensaio é possível determinar a relação água/cimento e do teor de água de cada tipo de argamassa. A figura 13 apresenta o ensaio de consistência sendo executado.

Figura 13 – Ensaio de consistência



Fonte: Autoria própria.

3.2.5 Moldagem dos Corpos de Prova (CP)

Os materiais foram colocados na argamassadeira para que fossem homogeneizados, seguindo o procedimento prescrito pela NBR 7215 (ABNT, 1996). Os moldes utilizados foram os prismáticos metálicos com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm (figura 14) e os cilíndricos de dimensões de 5 cm x 10 cm (figura 15), e que foram usados nos ensaios de compressão e tração à flexão e readequados para o ensaio da eflorescência, tendo as dimensões 3cm x 12cm x 16cm. Após a desmoldagem, os corpos-de-prova foram identificados e em seguida submetidos aos períodos de cura submersa e cura ao ar livre (ensaio da compressão e tração à flexão). Os períodos de cura foram de 28 dias, 56 dias, 68 dias (apenas no ensaio de imersão na água), e 98 dias (apenas para o ensaio da eflorescência). A cura submersa foi feita em um reservatório cheio de água, com 2% de cal para que fosse evitado a carbonatação, e a cura ao ar livre ocorreu no ambiente do laboratório. A tabela 8 apresenta um resumo da quantidade dos corpos-de-prova moldados, o molde utilizado

(formato e dimensões), e o tempo de cura para cada ensaio realizado. Já a figura 16 mostra corpos-de-prova moldados.

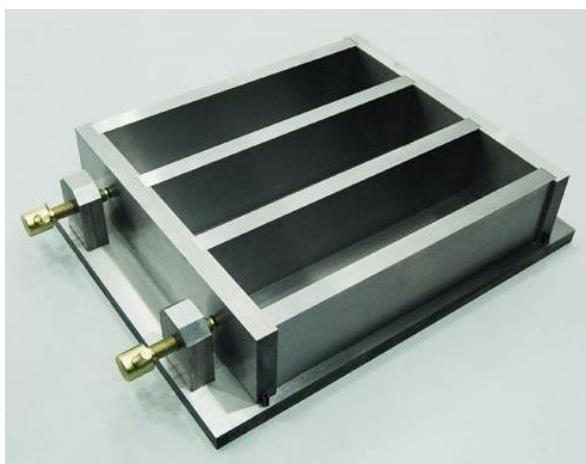
Tabela 8 - Resumo dos moldes e quantidade corpo – de – prova

ENSAIO	FORMATO DO MOLDE	DIMENSÕES (mm)	TEMPO DE CURA	QUANTIDADE
Atividade Pozolânica	Cilíndrico	50x100	28dias	10
Resistência à Tração	Prismático	40x40x160	28dias - 56dias	9 - 9
Compressão simples ¹	Prismático	40x40x160	28dias - 56dias	18 - 18
Absorção por capilaridade	Cilíndrico	50x100	28dias - 56dias	12 - 12
Absorção por imersão em água	Cilíndrico	50x100	28dias - 68dias	12 - 12
Eflorescência ²	Prismático	30x120x160	98dias	9

¹ Os corpos-de-prova foram os mesmos do ensaio de tração à flexão, sendo a quantidade dobrada, pois, no mecanismo acontece a ruptura aproximadamente na seção do meio do corpo-de-prova.

² Foi feita a adaptação do molde prismático que é utilizado nos ensaios de tração e compressão, no qual se retirou as divisórias intermediárias do molde.

Figura 14 - corpo-de-prova prismático 12 cm x 16 cm x 4 cm (LxCxH)



Fonte: <http://www.utest.com.tr/es/25893/Molde-con-3-Espacios>. Acesso: 17/02/2018

Figura 15 - corpo-de-prova cilíndrico 5 cm x 10 cm



Fonte: http://www.bombear.com.br/?page_id=39. Acesso: 17/02/2018

Figura 16 - Corpos de prova moldados



Fonte: autoria própria.

3.2.6 Propriedades no Estado Endurecido

O desempenho das argamassas é determinado pelas propriedades no estado endurecido, e a resistência mecânica, porosidade, absorção, permeabilidade são considerados requisitos.

3.2.6.1 Resistência à Tração na Flexão e à Compressão Simples

A resistência mecânica é uma das propriedades das argamassas que tem a capacidade interna de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens, que simplificam em: tensões simultâneas de cisalhamento, tração e compressão (CARASEK, 2007).

A resistência à tração na flexão e à compressão simples foram determinadas nas idades de 28 dias, e 56 dias, tanto para as argamassas com 10% de CCA, como para as argamassas com 15% de CCA, além dos corpos-de-prova de referência (sem CCA). Para cada período de cura e traço foram moldados 03 corpos-de-prova de formato prismático e dimensões 4cm x 4cm x 16cm. O ensaio seguiu as recomendações da norma NBR 13279 (ABNT, 2005), que primeiramente na execução dos rompimentos, ensaia-se o corpo-de-prova à tração na flexão, e em seguida, este mesmo corpo-de-prova é ensaiado à compressão. A tabela 9 apresenta o quantitativo de corpos-de-prova que serão moldados para o ensaio de flexão à tração e ensaio de compressão.

Tabela 9 - Quantidade de Corpos-de-prova 4cm x 4cm x 16cm moldados para o ensaio de Flexão à tração e para ensaio de compressão.

	CP Referência	10% de CCA	15% de CCA
Período de Cura: 28 dias	3	3	3
Período de Cura: 56 dias	3	3	3
Subtotal	6	6	6
TOTAL	18		

Fonte: autoria própria.

O corpo-de-prova ensaiado será demarcado no eixo para que a aplicação da carga seja aplicada no centro, o que o dividirá em duas partes, que serão utilizadas para medir a resistência à compressão. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Construção Civil do IFRN – Campus Central – Mossoró em uma prensa universal da EMIC modelo SSH300, conforme apresenta a figura 17.

Figura 17 - Prensa Universal EMIC modelo SSH300



Fonte: <http://www.emic.com.br/>. Acesso: 17/02/2018

3.2.6.2 Absorção por Capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade seguiu as orientações da NBR 9779 (ABNT, 2012). Foram moldados 04 corpos-de-prova para cada traço (10% de CCA e 15% de CCA) e tempo de cura (28 dias e 56 dias), o molde do corpo-de-prova é cilíndrico e tem as dimensões de 5cm de diâmetro por 10cm de altura. O ensaio foi feito nas instalações do laboratório de Engenharia Civil da UFERSA – Campus Pau dos Ferros. A tabela 10 apresenta o quantitativo de corpos-de-prova que serão moldados para o ensaio de absorção por capilaridade.

Tabela 10 - Quantidade de Corpos-de-prova 5cm x 10cm moldados para o ensaio de absorção por capilaridade.

	CP Referência	10% de CCA	15% de CCA
Período de Cura: 28 dias	4	4	4
Período de Cura: 56 dias	4	4	4

Subtotal	8	8	8
TOTAL	24		

Fonte: Autoria própria.

Inicialmente, os corpos-de-prova foram colocados na estufa por um período de 24h, à temperatura de $\pm 110^{\circ}\text{C}$ e, após esfriar em temperatura ambiente, foram verificadas as massas secas e em seguida, foram colocados em contato com uma lâmina de água de 5mm, conforme mostra a figura 18.

Figura 18 - Ensaio de absorção por capilaridade



Fonte: Autoria própria.

Durante o ensaio, foram determinadas as massas saturadas dos corpos de prova nos intervalos de 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, contadas a partir da colocação destes em contato com a água. Assim, determinou-se os valores das absorções para cada intervalo de tempo.

3.2.6.3 Absorção por Imersão em Água

A NBR 9778 (ABNT, 2005) que prescreve o ensaio de absorção por imersão em água. Para este ensaio, foram moldados 4 corpos-de-prova para cada traço (10% e 15%) e

período de cura (28 dias e 68 dias). A realização do ensaio aconteceu no laboratório de Engenharia Civil da UFERSA – Campus Pau dos Ferros. A tabela 11 apresenta o quantitativo de corpos-de-prova que serão moldados para o ensaio de absorção por imersão em água.

Tabela 11 - Quantidade de corpos-de-prova 5cm x 10cm moldados para o ensaio de absorção por imersão em água.

	CP Referência	10% de CCA	15% de CCA
Período de Cura: 28 dias	4	4	4
Período de Cura: 68 dias	4	4	4
Subtotal	8	8	8
TOTAL	24		

Fonte: Autoria própria.

Primeiramente, os corpos-de-prova foram colocados na estufa durante 72h, à temperatura de $\pm 110^{\circ}\text{C}$, para haver a secagem, após esse período foram registrados os valores das massas secas. Em seguida, foi realizada a saturação das amostras, imergindo em água à temperatura ambiente por um período de 72h. Completada a saturação, os corpos-de-prova foram colocados em um recipiente cheio de água que progressivamente foi levado a ebulição. Como pode ser observado na figura 19 abaixo.

Figura 19 - Ensaio de absorção por imersão em água – Corpos-de-prova na ebulição por 5h



Fonte: Autoria própria

A ebulição foi mantida por um período de 5h, mantendo aproximadamente constante o volume de água. Decorridas as cinco horas, deixou-se a água esfriar naturalmente até a temperatura ambiente, e em seguida, registrou-se os valores da massa saturada e da massa fazendo uso da balança hidrostática.

Com o registro dos valores, foram feitos os cálculos e obtendo os resultados da absorção, índice de vazios, massa específica da amostra seca, massa específica da amostra saturada e massa específica real.

3.2.6.4 Ensaio de Eflorescência em Argamassa de Revestimento

Este procedimento foi denominado de ensaio de eflorescência, mas, é importante destacar a inexistência de norma brasileira, editada pela ABNT, que aborde o fenômeno das eflorescências na construção civil, servindo como referência, as normas internacionais.

O fenômeno da eflorescência torna-se difícil de criar uma metodologia experimental, por se tratar de um fenômeno complexo e dependente de vários fatores condicionantes, como por exemplo: variações meteorológicas, comportamento da edificação exposta a quantidades variáveis de água de origens diversas, entre outros. A dificuldade em prever esses fatores em testes, justifica a complexidade em ter resultados quantitativos, que represente fielmente a incidência das eflorescências nas obras (SALLES, 2010).

Buscando inferir a eflorescência na argamassa de revestimento, usou-se como sustentação o programa experimental desenvolvido por Salles Neto (2010), que teve embasamento em normas internacionais e estudos desenvolvidos por vários autores.

Inicialmente foram confeccionadas as placas de argamassa, nos traços 0%, 10% e 15% de CCA em substituição ao aglomerante. As placas foram confeccionadas com dimensões de 16cm x 12cm, e espessura de 3cm, por já ter sido utilizada por Paes (2004), e ser especificada como limite pela NBR 13749 (ABNT, 2013) para paredes externas. A figura 20 mostra a moldagem dos corpos de prova.

Figura 20 - Ensaio da eflorescência – moldagem dos CP's



Fonte: Autoria própria.

O sal utilizado no experimento foi o sulfato de sódio, por ser um sal bastante frequente nos blocos cerâmicos, ser de alta solubilidade e pressão de cristalização quando da formação de subflorescências, grande formação de eflorescências e mínima interferência dos demais compostos presentes nos substratos e nas argamassas. Essas considerações são dos estudos de Muzzin (1982), Rodriguez-Navarro, *et al.*, (2000), Schmidt (1963), Uemoto (1988) e Verduch e Solana (2000).

Os corpos-de-prova das argamassas de referência (sem CCA), com 10% de CCA, e com 15% de CCA, foram submetidos a cura úmida de 98 dias, após esse período passaram por secagem na estufa. Posteriormente foram colocadas em contato com a solução saturada de sulfato de sódio por um intervalo de 48h. Decorrido esse intervalo, checkou-se o estado da configuração superficial, retirou-se fotografias para servir na coleta dos resultados qualitativos, e mensurou a quantidade de sal eflorescido fazendo a diferença entre as pesagens dos corpos-de-prova pós secagem em estufa e pós período de imersão na solução salina.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir estão os resultados obtidos durante o programa experimental. Os resultados expostos fornecem indicações relevantes para um possível uso da cinza da casca de arroz, nas proporções adotadas, nas argamassas de revestimento, com o objetivo de mitigar o fenômeno da eflorescência.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

a) A areia

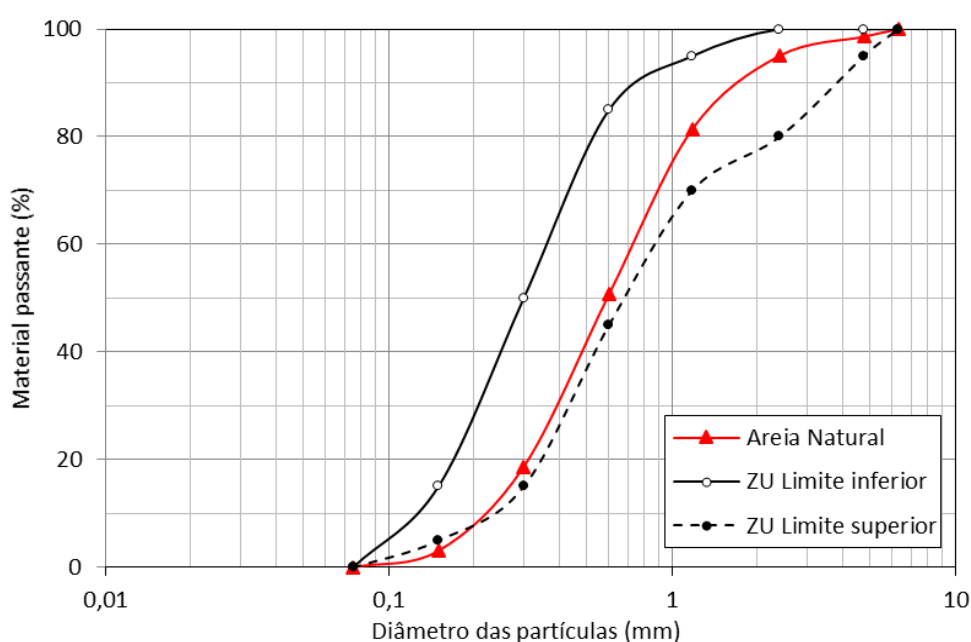
Na elaboração das argamassas, foi constatado que a areia utilizada era de granulometria média, onde foi realizado ensaios de composição granulométrica do agregado (NBR 7217, 1987), massa unitária (NBR NM 45, 2006). Os resultados da caracterização das propriedades físicas do agregado e sua curva granulométrica estão dispostos na tabela 12 e figura 21.

Tabela 12 - Características físicas do agregado miúdo.

Módulo de Finura	2,53
Massa Específica Real (g/dm^3)	2,62
Massa Unitária (g/dm^3)	1,54
Diâmetro Máximo (mm)	2,40

Fonte: autoria própria.

Figura 21 - Curva granulométrica do agregado miúdo.

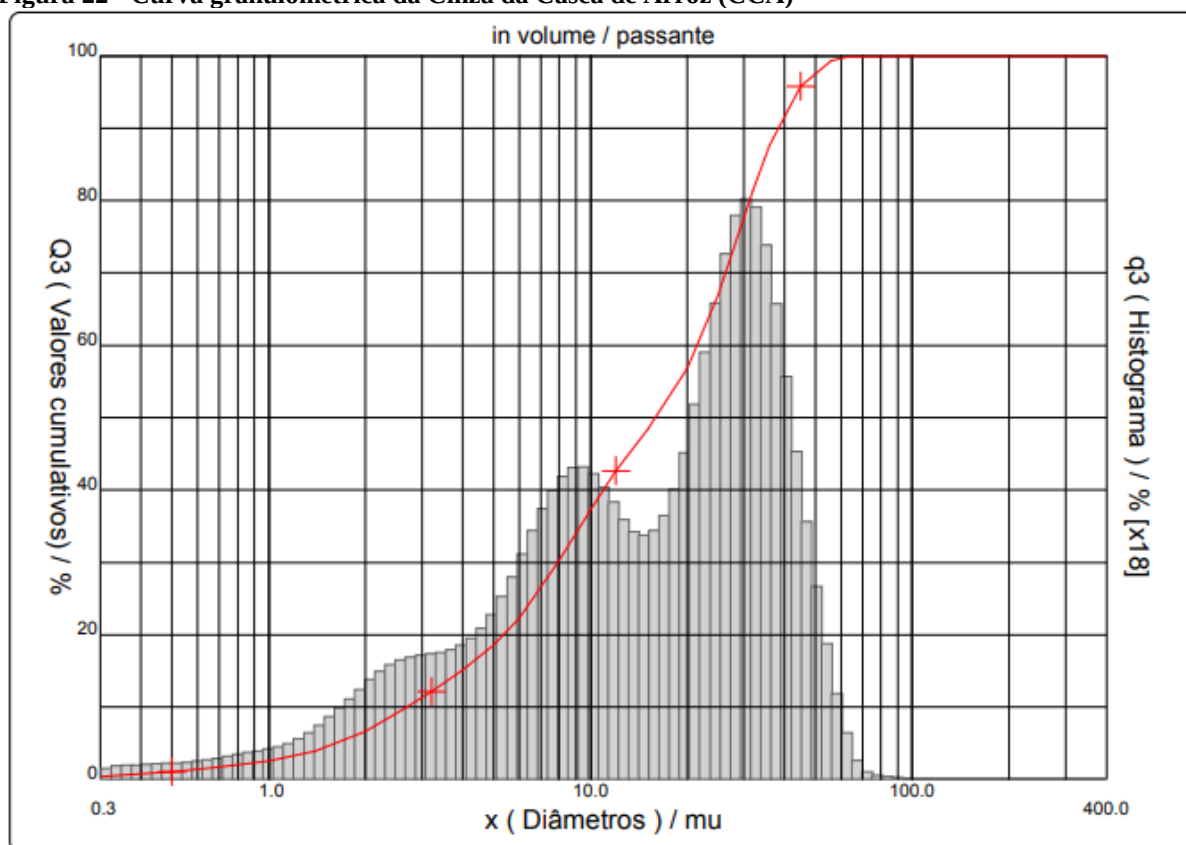


Fonte: autoria própria.

b) CCA

A distribuição dos tamanhos das partículas da cinza da casca de arroz (CCA) que foi moída no intervalo de tempo de 2 horas, apresenta que 10% das partículas tem diâmetros inferiores a 2,68 μ m, 50% das partículas tem diâmetros inferiores a 15,89 μ m, e 90% das partículas tem diâmetros inferiores a 38,43 μ m. O diâmetro médio das partículas foi de 18,75 μ m. Com essas informações percebe-se que a CCA é bastante fina, assim, possui uma boa superfície de contato, garantindo uma melhor ativação nas reações. A figura 22 mostra a curva granulométrica da cinza da casca de arroz

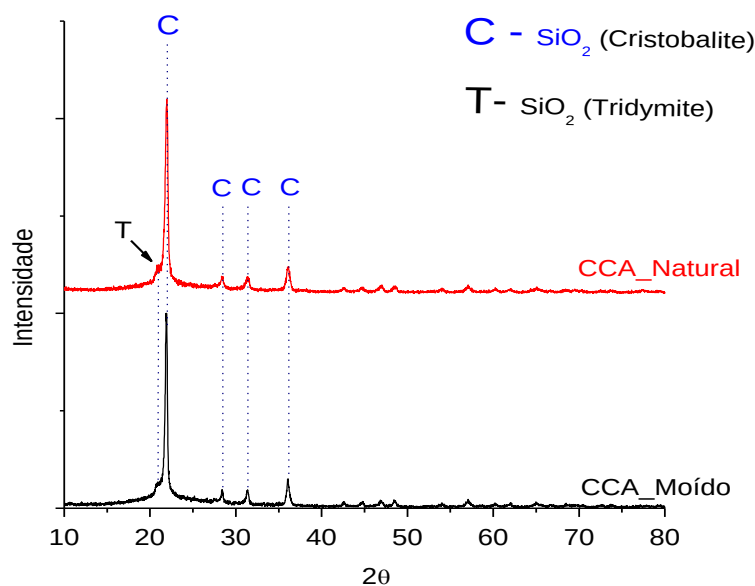
Figura 22 - Curva granulométrica da Cinza da Casca de Arroz (CCA)



Fonte: autoria própria.

Na figura 23 mostra o difratograma da cinza da casca de arroz em seu estado natural e moída (moagem de duas horas). Pela análise, percebe-se que a cinza tem o aspecto cristalino e composta de sílica na forma de cristobalita.

Figura 23 - DRX da cinza natural e moída



Fonte: autoria própria.

4.2 ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA

Analisando os resultados constatou-se que o resíduo estudado apresenta valores de índice de atividade pozolânica (IAP) superior ao mínimo especificado pela norma NBR 12653 (1997). O valor do IAP foi de 103,4%, enquanto o mínimo estabelecido por norma é de 75%. Assim, pode se concluir que a cinza da casca de arroz (CCA) tem potencial pozolânico, podendo substituir o cimento nas porcentagens determinadas neste trabalho, 10% e 15%.

4.3 CONSISTÊNCIA DAS ARGAMASSAS

Este ensaio teve como objetivo aferir a quantidade de água necessária para atingir o índice de consistência prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2016), que equivale a 260 ± 5 mm, o qual foi fixado para o traço, e as substituições do aglomerante pela cinza da casca de arroz (10% e 15%).

A tabela 13 apresenta os valores para relação água/aglomerante, teor de aditivo e índice de consistência das argamassas.

Tabela 13 - Índice de consistência das argamassas trabalhadas.

TRAÇO	CCA (%)	RELAÇÃO A/C	ADITIVO (%)	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (mm)
1:3 (cimento: areia)	0	0,68	0	262,10
	10%	0,68	0,2	263,40
	15%	0,68	0,3	264,20

Fonte: Autoria própria.

Conforme percebe-se na tabela 13, o valor da relação água/aglomerante permaneceu o mesmo, com o incremento da cinza, adicionou-se o superplastificante para que fosse alcançado o índice de consistência. Os índices de consistência das argamassas produzidas com a cinza tiveram aumento, pois quando temos grãos menores em substituição a grãos maiores, há uma maior quantidade de vazios, uma maior superfície específica e, conseqüentemente um maior consumo de água (que neste caso, o aditivo supriu a necessidade do aumento de água), e assim favoreceu um aumento da coesão, ou seja, as partículas da cinza oferecem uma melhor ligação entre as partículas sólidas da argamassa e a química da pasta aglomerante.

4.4 ENSAIOS TECNOLÓGICOS DO ESTADO ENDURECIDO

4.4.1 Resistência: Tração na flexão e compressão

Nas tabelas 14 a 17 estão apresentados as médias dos resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão, respectivamente.

Tabela 14 – Médias das resistências à tração na flexão

TEMPO DE CURA ÚMIDA				
ARGAMASSA	28 DIAS	Desvio Padrão	56 DIAS	Desvio Padrão
<i>Referência</i>	4,17MPa	0,50	4,66MPa	0,19
<i>10%_Cinza</i>	4,00MPa	0,25	4,50MPa	0,25
<i>15%_Cinza</i>	3,68MPa	0,34	3,95MPa	0,28

Fonte: Autoria própria.

Tabela 15 - Classificação das argamassas segundo a NBR 13281 - critério resistência à tração

CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ACORDO COM A NBR 13281 (ABNT, 2005)		
ARGAMASSA	28 DIAS	56 DIAS
<i>Referência</i>	R6	R6
<i>10%_Cinza</i>	R6	R6
<i>15%_Cinza</i>	R6	R6

Fonte: Autoria própria.

Tabela 16 - Médias das resistências à compressão

TEMPO DE CURA ÚMIDA				
ARGAMASSA	28 DIAS	Desvio Padrão	56 DIAS	Desvio Padrão
<i>Referência</i>	19,47MPa	0,86	21,22MPa	0,71
<i>10%_Cinza</i>	19,22MPa	1,54	19,33MPa	0,90
<i>15%_Cinza</i>	15,08MPa	2,27	17,16MPa	0,96

Fonte: Autoria própria.

Tabela 17 - Classificação das argamassas segundo a NBR 13281 - critério resistência à compressão

CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS DE ACORDO COM A NBR 13281 (ABNT, 2005)		
ARGAMASSA	28 DIAS	56 DIAS
<i>Referência</i>	P6	P6
<i>10%_Cinza</i>	P6	P6
<i>15%_Cinza</i>	P6	P6

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que no caso da resistência à tração na flexão, os maiores valores de resistência foram nas argamassas de referência, ao fazer as correlações destes resultados com

as argamassas contendo 10% de cinza, e com as argamassas contendo 15% de cinza. Percebe-se na primeira comparação, que a variação no ganho da resistência não foi tão significativa, pois, a argamassa de referência foi superior apenas 3,43% no período de 56 dias de cura úmida. Na segunda comparação, a porcentagem já foi mais relevante, 15,24% a mais do que a argamassa com 15% de cinza. Conforme pode-se notar na tabela 15, todas as argamassas obtiveram a mesma classificação segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Quanto aos resultados do ensaio da resistência à compressão, fazendo a mesma análise feita com os resultados da resistência à tração na flexão. Nota-se que as argamassas de referência também tiveram os melhores ganhos de resistência. No comparativo com as argamassas 10% de cinza, e com as argamassas 15% de cinza, os valores das argamassas de referência foram superiores no ganho de resistência 8,90% e 19,13%, respectivamente. Em relação a classificação, na tabela 17, percebe-se que todas argamassas tiveram a mesma classificação.

Verificou-se que as argamassas de referência obtiveram desempenho mecânico superior as argamassas com cinza incorporada, o que pode ser argumentado pelas reações pozolânicas acontecerem lentamente. Talvez, os intervalos de tempo de cura adotados não foram suficientes para demonstrar o efeito da pozolanicidade contida na cinza. Uma análise com idade mais avançada, possivelmente apresentaria resultados mais satisfatórios.

Como já foi discutido, os resultados do ensaio da tração à flexão não sofreram influência significativa da cinza, o que torna um fator positivo, pois, estes resultados são mais relevantes do que os resultados da resistência à compressão para as argamassas de revestimento, garantindo que a argamassa resista aos esforços de tensões.

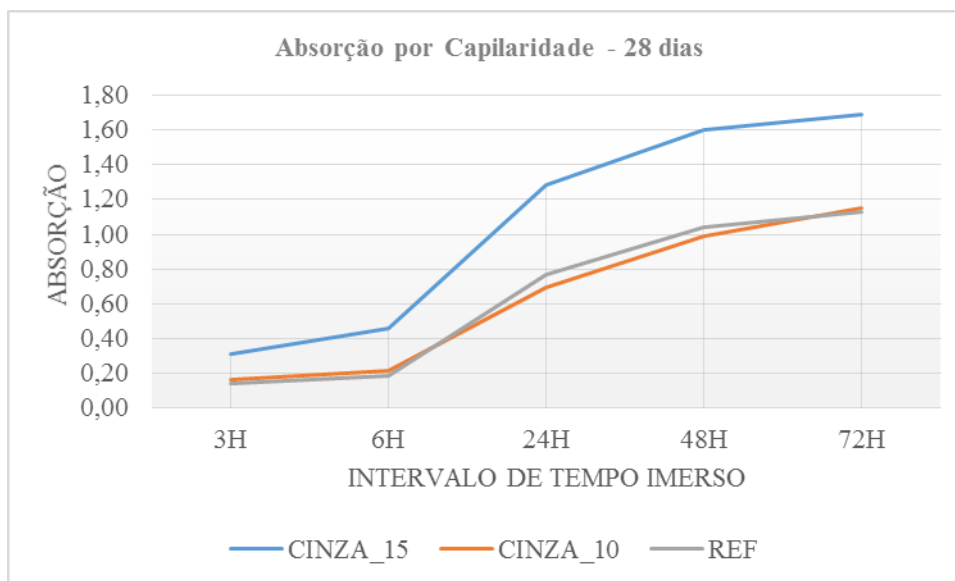
Embora as argamassas de referência tenham tido os melhores resultados, as argamassas com CCA seguindo a classificação prescrita pela NBR 13281 (ABNT, 2005), caracteriza a viabilidade destas argamassas quanto ao desempenho mecânico.

4.4.2 Absorção por Capilaridade

Na questão da durabilidade das argamassas, o desenvolvimento da absorção de água por capilaridade ao longo do tempo constitui em um importante parâmetro, já que caracteriza a umidade e o processo de secagem e molhagem que ocorre com frequência nas argamassas de revestimentos dos edifícios, acarretando o surgimento de várias manifestações patológicas.

As tabelas 18 e 19 abaixo estão representando os valores de absorção por capilaridade nos períodos de cura de 28 dias e 56 dias, respectivamente. As figuras 24 e 25 apresentam as curvas das absorções por capilaridade das argamassas de referência, das argamassas contendo 10% e 15% de cinza em substituição do cimento, no período de cura de 28 dias e 56 dias, respectivamente, e nos intervalos de tempo expostos no eixo das abcissas.

Figura 24 - Absorção por capilaridade (g/cm²) - 28 dias

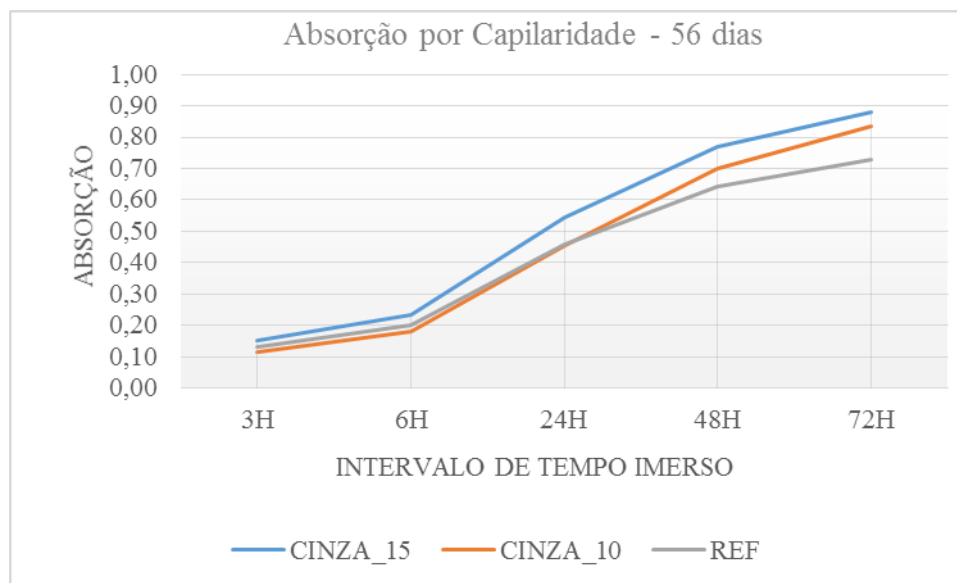


Fonte: autoria própria.

Tabela 18 - Dados das absorções por capilaridade (g/cm²) - 28 dias

	3H	6H	24H	48H	72H
CINZA_15	0,3121	0,4548	1,2815	1,6013	1,6879
CINZA_10	0,1618	0,2140	0,6968	0,9873	1,1503
REFERÊNCIA	0,1389	0,1847	0,7669	1,0382	1,1274

Fonte: autoria própria.

Figura 25 - Absorção por capilaridade (g/cm²) - 56 dias

Fonte: Autoria própria.

Tabela 19 - Dados das absorções por capilaridade (g/cm²) - 56 dias

	3H	6H	24H	48H	72H
CINZA_15	0,1541	0,2344	0,5452	0,7707	0,8815
CINZA_10	0,1172	0,1822	0,4548	0,6994	0,8344
REFERÊNCIA	0,1325	0,2000	0,4573	0,6433	0,7287

Fonte: Autoria própria.

A absorção por capilaridade como já mencionada, é importante para o estudo da durabilidade, porque vai determinar a facilidade ou dificuldade de os agentes agressivos penetrarem, e ocasionarem a deterioração da argamassa. Pelos ensaios, percebe-se que a absorção aumenta com o aumento de resíduo, em comparação ao de referência.

Da análise dos resultados do ensaio de absorção por capilaridade, percebe-se que os valores entre as argamassas de referência e argamassas com 10% de cinza forem bem aproximados, notando pelos gráficos tanto no período de 28 dias de cura, como no gráfico 1 do período de 58 dias de cura, que as curvas estiveram bem entrelaçadas.

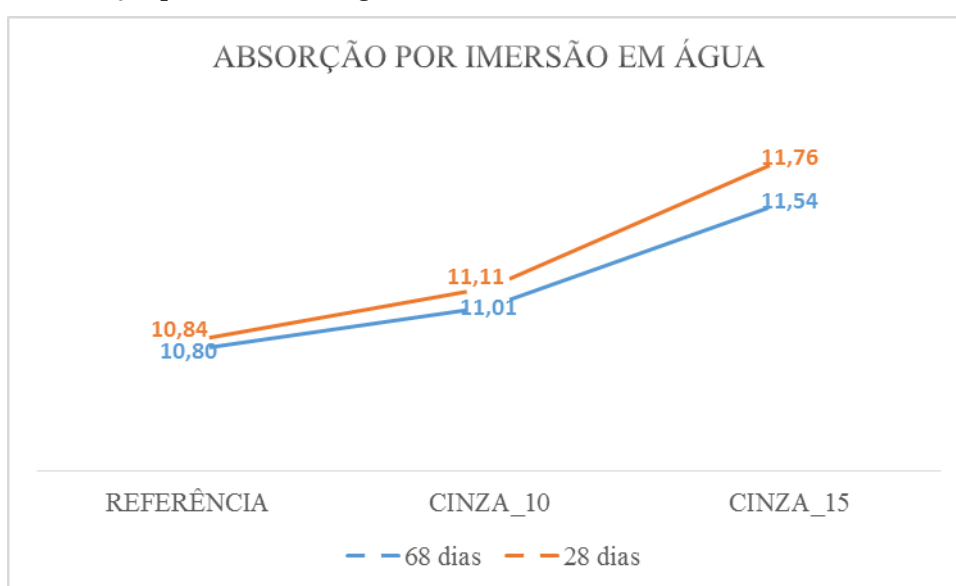
Outra observação a ser feita é que ambas as argamassas tiveram a absorção diminuída, do período de 28 dias para 56 dias. Destaque para a argamassa com 15% de CCA, que em todos os intervalos de tempo em que ficou imersa, teve sua absorção significativa reduzida, como por exemplo no intervalo de 72 horas, a redução foi de 52,22%. Ao olhar nos gráficos é notadamente percebido que a curva das argamassas com 15% de CCA, se aproxima das

demais. Esse comportamento só reforça a ideia que a atividade pozolânica cresce com o passar dos dias.

4.4.3 Absorção por Imersão em água

A figura 26 apresenta os resultados da absorção por imersão em água das argamassas de referência, contendo 10% e 15% de CCA, nos períodos de cura úmida de 28 dias e 68 dias.

Figura 26 - Absorção por imersão em água - 28 dias e 68 dias



Fonte: autoria própria.

Ao analisar a figura 26, percebe-se que os valores das absorções variaram pouco em relação ao tipo de mistura de argamassa, e em relação ao tempo de cura. A variação da argamassa de referência aos 28 dias para 68 dias, não alcançou nem 0,4% de caimento no valor da absorção. No geral, houve diminuição da absorção em todas argamassas sendo, justificado pelo acréscimo na resistência à compressão, conforme foi exposto anteriormente.

Observa-se que as argamassas de referência tiveram os menores valores de teor de absorção, mas, ao comparar com os demais resultados, percebe-se que a variação não foi de grande significância.

Ao decorrer o tempo de cura, de 28 dias para 68 dias, as argamassas que mais variaram nos valores de absorção, foram as argamassas com 15% de cinza. Porém, a redução foi muito sutil, de apenas 1,87%.

Quanto a questão da propriedade da durabilidade, para este ensaio de absorção por imersão em água, ambas as argamassas estão viabilizadas para uso em revestimentos, pois, a variabilidade dos resultados foi pouco expressivo.

4.4.4 Ensaio da eflorescência

O ensaio seguiu o procedimento determinado na metodologia, as placas de argamassa de dimensões 12cmX16cmX3cm (LxCxH), foram imersas na solução saturada de sulfato de sódio, permanecendo no recipiente pelo período de 48 horas, conforme mostra a figura 27.

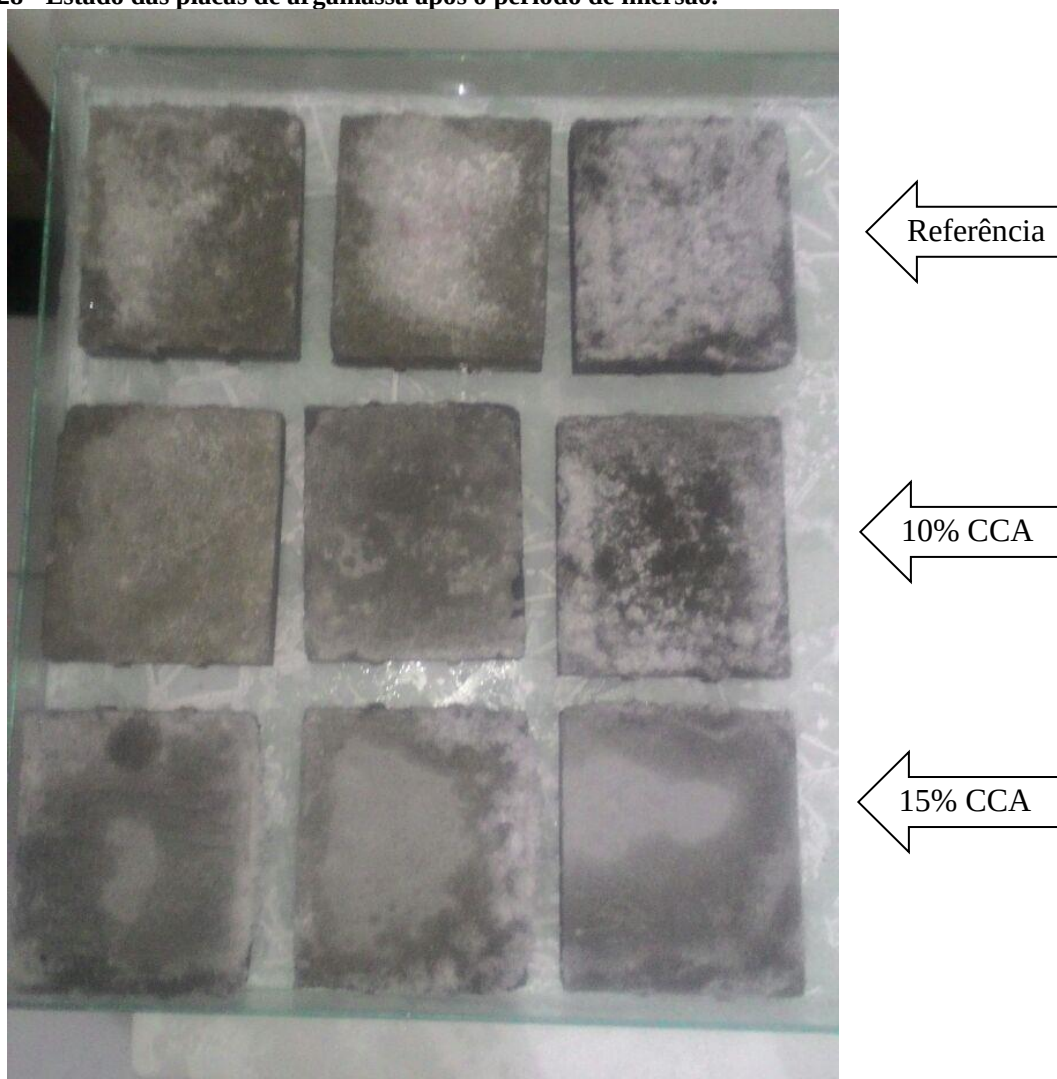
Figura 27 - Início do processo de imersão das placas na solução de sulfato de sódio



Fonte: autoria própria.

Decorrido o período de 48 horas, foi realizada a análise visual das placas, e em seguida as placas foram levadas para a estufa, para que pudesse mensurar a quantidade de sal eflorescido e penetrado nas placas. A figura 28 mostra o estado das placas após o intervalo de 48 horas.

Figura 28 - Estado das placas de argamassa após o período de imersão.



Fonte: autoria própria.

Na análise visual das placas de argamassa, percebe-se que a umidade atingiu toda a superfície das placas de referência e das placas com a porcentagem de 10% de CCA. Nas placas de referência houve a formação significativa do sal eflorescido, apresentado na imagem com a coloração branca, e o aspecto foi semelhante a uma pelugem, sem esquecer de mencionar, que nas laterais das placas houve um início de cristalização do sal.

Nas placas de argamassa com 10% de CCA houve a formação de sal eflorescido em menor quantidade, ao se comparar com as placas de referência, como pode se perceber nas duas placas da esquerda para a direita. Nessas duas placas o aspecto de sal formado foi semelhante a uma poeira. Já na terceira placa houve na superfície a formação de pelugem.

O aspecto visual das placas de argamassa com 15% de CCA, foi que não houve ação da umidade na totalidade da superfície das placas. Nas duas primeiras placas, da esquerda

para a direita, aconteceu o surgimento da pelugem ao redor das placas, nas extremidades. Na terceira placa, a ação do sulfato de sódio gerou manchas de coloração branca.

Pode-se concluir quanto a análise visual, que os melhores resultados, melhores aspectos, foram nas placas de 15% de CCA, em seguida, as placas de 10% de CCA, e por último, as placas de referência.

Após o intervalo de 24h, o qual as placas de argamassa estiveram na estufa, foi mensurado a quantidade de sal que foi penetrado e que ficou sob a superfície das placas. Como foi realizado a pesagem de cada placa antes de ser estabelecido o contato com a solução de sulfato de sódio, denominando de amostra seca, e em seguida, a pesagem de cada amostra após ter acontecido o contato com a solução salina e posterior secagem em estufa, denominando de amostra seca com sais, chegou-se na quantidade de sal, fazendo-se a diferença entre as duas pesagens. Assim, a média dos resultados para cada tipo de argamassa foi a seguinte: 88,97g de sal nas amostras de argamassa de referência, 54,53g nas argamassas com 10% de cinza, e 44,1g nas argamassas com 15% de cinza.

Analisando as quantidades de sal, percebe-se que a situação mais favorável foi nas placas de argamassa com 15% de cinza.

5 CONCLUSÕES

Conforme consta nos resultados, as argamassas de referência tiveram os melhores valores, na questão da resistência mecânica, como também na capilaridade e absorção por imersão em água. Porém, ao comparar com as demais argamassas, as que tinham 10% e 15% do material aglomerante substituído pela CCA, não se percebe uma variação significativa.

Matematicamente, as proporções entre a argamassa convencional e a argamassa alternativa com 10% de CCA, em termos de resistência à tração, não ultrapassa 3,43% de ganho de resistência da argamassa convencional sobre a argamassa com 10% de CCA. Na resistência à compressão, fazendo a mesma análise feita acima, entre a argamassa de referência e a argamassa com 10%, tem-se uma porcentagem de 8,90% de aumento da resistência da argamassa de referência em relação a outra argamassa. Assim, isso reflete de forma conveniente para as argamassas de revestimento, já que no geral, a resistência à tração é mais relevante. Além disso, os valores enquadram as argamassas na classificação da NBR 13281 (ABNT, 2005) numa classe comum. Portanto, quanto a resistência mecânica, o uso da CCA na confecção das argamassas de revestimento, não implica em inviabilidade técnica.

Quanto a capilaridade e absorção em água, os valores apresentados para ambas argamassas, não dispuseram de variação considerável. A proximidade dos resultados, da argamassa convencional com as argamassas alternativas, corrobora para que o uso da CCA não deixe de ser empregado nas argamassas de revestimento.

Outro ponto importante para destacar, diz respeito a evolução dos resultados do período de cura dos 28 dias para 56 dias, nota-se que as argamassas com 10% e 15% de CCA ficam com os valores mais equiparados aos de referência. Isso é justificado pela ocorrência da reação pozolânica, que acontece lentamente e se estende até na faixa de 91 dias de cura. Talvez, se os ensaios desenvolvidos neste trabalho fossem refeitos com um período de cura mais longo, teria resultados mais expressivos.

No ensaio realizado para mensurar o efeito da eflorescência nas argamassas, ensaio este que trata do objetivo central deste trabalho, teve como resultados positivos, que houve menos penetração de sal e formação na superfície, foram em ordem crescente, as placas com 15% de CCA, as placas com 10% de CCA, e por último, as placas de argamassas de referência. Com isso, qualifica o uso da cinza da casca de arroz em argamassas.

Talvez, o fator preponderante para distinção de resultados entre os ensaios, tenha sido o tempo de cura (28 dias, 56 dias, 68 dias e 98 dias). Se for feito uma análise dos resultados

com a variável do tempo, percebe-se uma evolução satisfatória, que aprova a potencialidade da CCA.

Portanto, apesar que os resultados dos ensaios de absorção por imersão e capilaridade substancialmente englobem as argamassas de referência, a análise comparativa com as demais argamassas, permite concluir que todas estão qualificadas para serem usadas como argamassas de revestimento. E os resultados apresentados no ensaio da eflorescência otimiza mais ainda usar o resíduo CCA na fabricação de argamassas. Destaca-se que atrelado as argamassas alternativas tem a contribuição à sustentabilidade ambiental, a reforçando como escolha.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 618: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan For Use in Concrete. Philadelphia, 2008.

ANDRADE, J. J. O. Durabilidade das Estruturas de Concreto Armado: Análises das Manifestações Patológicas nas Estruturas no Estado de Pernambuco. Porto Alegre: UFRGS, 1997. 148 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo – SP, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12653**: materiais pozolânicos: requisitos. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

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

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Especificação. Rio de Janeiro, 2013. 1p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5751**: Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7217**: Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7810**: Agregado em estado compactado seco - Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1983. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2012. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006. 8p.

BARBOSA, D. C. **Desempenho de concretos de cimento Portland de alto forno com adição de sílica ativa submetidos à cura térmica**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

BARBOSA, Michele Beniti. **Utilização de resíduos de cinza da casca de arroz e borracha de pneus em concreto de alto desempenho**. 2006. 147 f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

BARZAGHI, L. Eflorescência em ladrilhos esmaltados. **Cerâmica**, São Paulo, v. 29, n. 164, ago. 1983.

BASHA E.A.; HASHIM R.; MAHMUD H.B.; MUNTOHAR A.S. Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and Building Materials*, Guildford, v. 19, p.448–453, 2005.

BAUER, E. **Sistemas de revestimento de argamassa – generalidades**. In: Elton Bauer. (Org.). *Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades*. 1ed. Brasília: LEM-UnB e SINDUSCON-DF, 2005, v. 1.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.v. 2

BERALDO A.L., TOJAL J.H.V. **Utilização de argamassa de cimento e casca de arroz em moradias populares**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. Anais. Cascavel: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001.

BREITENBACH, Silvia Becher. **Desenvolvimento de argamassa para restauração utilizando resíduo do polimento do porcelanato**. 2013. 180 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2013.

BUI, D. D., HU, J., STROEVEN, P. **Particle size effect on the strength of rice husk ash blended gap-graded Portland cement concrete**. *Cement e Concrete Composites*, v. 27, n. 3, 357-366p. 2005.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: **Geraldo C. Isaia (Org./ Ed.). Livro** Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. **1ed.** São Paulo: IBRACON, 2007. v. 2. Cap. 26.

CHIAVERINI, V. **Desenvolvimento Sustentado. Metalurgia e Materiais**. ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. V 50. nº 435. 1066p. São Paulo/SP. Novembro, 1994.

CHIN, I, R. L. Petry, ASTM Spec. Tech. Publ. 1180 (1993)

CINCOTTO, M. A. Discussão dos métodos de determinação da massa unitária de areia para argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. Anais... Vitória, 1999. p. 59-68.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de Revestimento Características, propriedades e métodos de ensaio**. Publicação IPT n. 2378, São Paulo, 1995.

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resoluções CONAMA**: 1984/1986. Brasília, SEMA, 1986.

COSTENARO, F. L. **Desenvolvimento de concreto de alto desempenho com adições de e sílica de casca de arroz**. 2003. 151 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

CRUZ, A. A. de F., GEMELLI, E., CAMARGO, N. H. A. Influência da Incorporação do Resíduo Cinza Preta em Argamassas Para a Construção Civil. Parte I: Caracterização Mecânica e Mineralógica. 56o Congresso Anual da ABM Internacional, Belo Horizonte – MG, 2001.

DEGUSSA. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. 2008. Ed. Red. Reabilitar. São Paulo, 2008.

DELLA, V. P. **Processamento e caracterização de sílica ativa obtida a partir de cinzas de casca de arroz**. 2001. 79 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 2001.

DUART, Marcelo Adriano. **Estudo da microestrutura do concreto com adição de cinza de casca de arroz residual sem beneficiamento**. 2008. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

FERREIRA, R. M. **Avaliação de ensaios de durabilidade do betão**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho. Escola de Engenharia Civil. Guimarães, 2000.

GOMES, Valtencir Lúcio de Lima. **Efeito da adição de diatomita no comportamento reológico e mecânico de argamassas colantes**. 2013. 138 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2013.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações / Eduardo Albuquerque Buys Gonçalves – Rio de Janeiro: UFRJ/ ESCOLA POLITÉCNICA, 2015.

GUEDERT, L. O. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do aproveitamento da cinza da casca de arroz como material pozolânico**. 1989. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis/SC, 1989.

HASPARYK, N. P. Estudo da influência da cinza de casca de arroz amorfa nas propriedades do concreto. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45, 2003, Espírito Santo. Anais... Espírito Santo: Ibracon, 2003.

HASPARYK, N. P. **Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado-efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa**. 1999. 257 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

HELENE, P. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: Geraldo C. Isaia. (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ed.São Paulo: IBRACON, 2011, v. I, p. 773-808.

HELENE, P. R. Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2. ED. São Paulo, 1992.

HOPPE T. F.; GASTALDINI A. L. G.; ISAIA G. C.; MISSAU F.; SACIOTO A. P. Influência do teor de cinza de casca de arroz na resistividade elétrica do concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47, 2005, Olinda. **Anais...** Olinda: Ibracon, 2005.

HOUSTON, D. F. **Rice hulls, rice chemistry and technology**. American Association of Several Chemistry, Minnesota, 301-352p, 1972. Huston, 1972.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). Produção agrícola e área plantada por cidade do Brasil. Disponível em: <<http://www.deepask.com/goes?page=morada-nova/CE-Agricultura:-Confira-a-producao-agricola-e-a-area-plantada-no-seu-municipio>>. Acesso em: 10/01/2018.

JOCHM, Lidiane Fernanda. Estudo das argamassas de revestimento com RCD [dissertação]: Características físicas e propriedades da microestrutura – Florianópolis, SC, 2012.

JONH, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**. Tese de Livre Docência. 102f. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo/SP, 2000.

LIDDLE, B. T. **Construction for Sustainability and the Sustainability of the Construction Industry**. In CIB TG 16 Sustainability Construction. Proceedings. 47–56p. Tampa, Flórida, 1994.

MALHOTRA, V. M; MEHTA, P. K. Pozzolanic and cementitious material. Advances in concrete technology. Vol. 1. CANMET. Canadá, 1996.

MARTINEZ, R.G.; FERREIRA, H.C.; NOGUEIRA, M. C. J. A. & NOGUEIRA, J. S. **Placa de argamassa composta com casca de arroz para painéis de fechamento vertical em**

habitações populares. I Seminário Mato - Grossense de Habitação de Interesse Social. Anais, 509-524p. Cuiabá/MT, 2005

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto:** microestrutura, propriedades e materiais. São Paulo: PINI, 2008. 574 p.

MEHTA, P. K.; PITT, N. A new process of rice husk utilization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RICE BY PRODUCTS UTILIZATION, 4,1974, Valencia. **Proceedings...** Valencia: Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos – Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1974. p.45-58.

MEHTA, P.K. Rice husk ash: a unique supplementary cementing material. In: ADVANCES IN CONCRETE TECHNOLOGY, 1992, Athens, 1992. **Proceedings...**Ontario: CANMET, p.419-443, 1992.

MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. S.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C., Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção – revisão, Cerâmica v.52 n.321 São Paulo, 2006.

MONTEIRO, C. M. O. L. **Influência da gipsita no surgimento de eflorescência em telhas cerâmicas.**2009. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

NASCIMENTO, W. N. et al. Adição de cinza de casca de arroz (CCA) no concreto, sob o aspecto da durabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Ibracon, 2002.

NEVILLE, A. **Propriedades do concreto.** 2.ed. São Paulo: PINI, 1997.

PAYÁ, J. ;WOOLLEY, G. R. ; GOUMANS, J. J. J. M. ; WAINWRIGHT, P. J. **Studies on cristalline rice husk ashes and the activation of their pozzolanic properties.** Waste materials in construction wascon 2000. Amsterdam: Pergamon, 2000. p. 493-503. (Waste Management Series, 1).

RECENA, F. A. P. Dosagem Empírica e Controle da Qualidade de Concretos Convencionais de Cimento Portland. 1. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002. v. 01. 116p .

RÊGO, J. H. S.; FIGUEIREDO, E. P.; NEPOMUCENO, A. A..A utilização da cinza de casca de arroz residual (CCA residual) como adição mineral ao cimento em concretos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: Ibracon, 2002.

RÊGO, J. H. S.; FIGUEIREDO, E. P.; NEPOMUCENO, A. A..A utilização da cinza de casca de arroz residual (CCA residual) como adição mineral ao cimento em concretos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 44, 2002, Belo Horizonte. Anais...Belo Horizonte: Ibracon, 2002.

RIBEIRO F. H. M.; ARANTE J.; CASSOL V. Avaliação da influência da cinza de casca de arroz produzida no estado do Tocantins nas propriedades do concreto nos estados plástico e

endurecido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47, 2005, Olinda. **Anais...** Olinda: Ibracon, 2005.

RIBEIRO, I. J. C. **Os sais solúveis na construção civil**. 1996. 60f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1996.

RODRIGUEZ-NAVARRO, Carlos; DOEHNE, Eric; SEBASTIAN, Eduardo. How does sodium sulfate crystallize? Implications for the decay and testing of building materials. *Cement and concrete research*, V. 30, 2000.

ROSCOE, Márcia Taveira. **PATOLOGIAS EM REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADA**. 2008. 81 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

ROSELLO, M. T. V. *Marteros de cemento para albanileria*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja, 1976.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984. 320 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 1984.

SALLES NETO, Moacyr. **Estudo do mecanismo de formação de florescências em revestimentos de argamassa aplicados em substrato cerâmico e o efeito de barreira**. 2010. 237 p. Tese (doutorado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2010.

SANTOS, Carla Cristina Nascimento. **Critérios de projetabilidade para as argamassas industriais de revestimento utilizando bomba de argamassa com eixo helicoidal**. 2003. 138 p. Dissertação (mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SANTOS, S. **Estudo da viabilidade de utilização de cinza de casca de arroz residual em argamassas e concretos**. Florianópolis. 1997. 130 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

SCHMIDT, E. *Mauerwerksausbluhungen aus mortel oder ziegel*. Ziegelind: Die, 1963.

SENSALE, G. R. B. Strength development of concrete with rice-husk ash. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v.28, p.158-160, 2006.

SENSALE, G. R.; DAL MOLIN, D. C. C. Estudo Comparativo entre as Propriedades Mecânicas e Durabilidade de Concretos de Alta Resistência e Convencionais com Cinza de Casca de Arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2001.

SILVA, C. A. R. **Estudo da influência da incorporação da cinza de casca de arroz no concreto**. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

SILVA, F. G. **Estudos de Concretos de Alto Desempenho Frente à Ação de Cloretos**. 2006. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, Fernanda Giannotti da. **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos**. 2006. 236 f. Tese (doutorado) - Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVEIRA, A. A. **A utilização da cinza da casca de arroz com vistas a durabilidade de concretos: estudo do ataque por sulfatos**. 1996. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 1996.

SITTER, W. R. Costs for services life optimization. The “Law of fives”. In: Durability of concrete structures; 1984, Copenhagen. Anais. Copenhagen: CEB-RILEM 1984.

SOUZA, Jozilene de. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz**. 2008. 160 f. Tese (doutorado em Engenharia de Processos) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

SOUZA, Vicente Custódio de, 1948 – Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto/ Vicente Custódio Moreira de Souza e Thomaz Ripper. São Paulo: PINI, 1998.

SUASSUNA, J. **O processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas no Nordeste Brasileiro**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 1996. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=772&Itemid=376> Acesso em: 21 jan. 2018.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. 2008. 84f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TASHIMA, M. M. Concreto com adição de cinza de casca de arroz (CCA) obtida através de um processo de combustão não controlada. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DA INGENIERÍA ESTRUCTURAL, 31, 2004, Mendoza. Jornadas... Mendoza : IMERIS/Universidad Nacional de Cuyo/ASAE, 2004. 10p.

TRISTÃO, F. A., **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis, 1995.

UEMOTO, Kai Loh. Patologia: Danos causados por eflorescência. In: Centro de documentação da divisão de edificações do IPT (coord.). Tecnologia de edificações. São Paulo: PINI, 1988.

ZUCCO, L. L. **Estudo da viabilidade de fabricação de placas de compósito à base de cimento e casca de arroz.** 1999. 118 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 1999.