

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**Cinza da casca do arroz utilizada em  
argamassas de assentamento e  
revestimento**

**Izabelle Marie Trindade Bezerra**

**Campina Grande – PB  
Fevereiro/ 2010**

**Izabelle Marie Trindade Bezerra**

**Cinza da casca do arroz utilizada em  
argamassas de assentamento e  
revestimento**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

Área de concentração: Engenharia Geotécnica

Orientador: Prof. PhD. João Batista Queiroz de Carvalho

Co-orientador: Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves

Campina Grande – PB

Fevereiro/ 2010

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B574c

2010 Bezerra, Izabelle Marie Trindade.

Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento /Izabelle Marie Trindade Bezerra. — Campina Grande, 2010. 108 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. João Batista Queiroz de Carvalho.

Referências.

1. Argamassas. 2. Cinza da Casca do Arroz. 3. Pozolanas. I. Título.

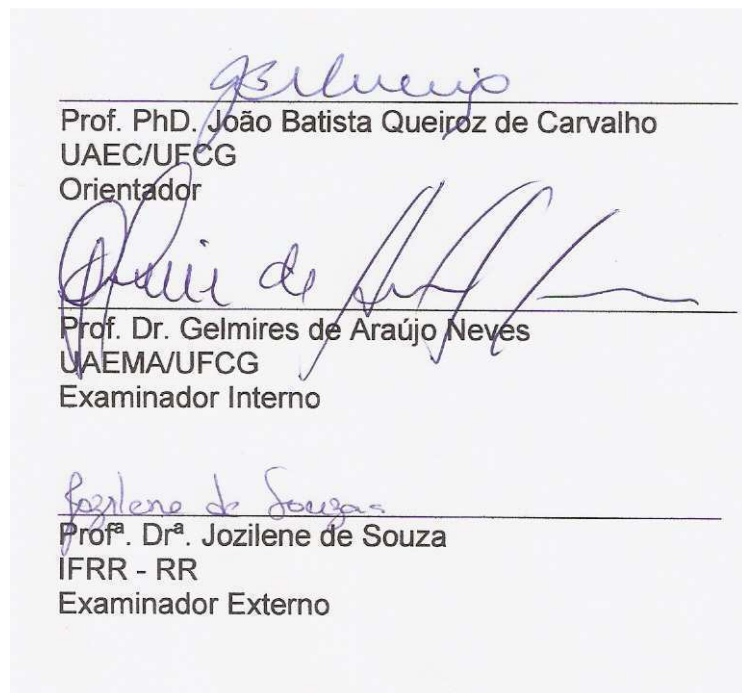
CDU 666.971 (043)

**Izabelle Marie Trindade Bezerra**

**Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL.

BANCA EXAMINADORA:



Campina Grande – PB

Fevereiro/ 2010

***Ao meu amado esposo,  
Graciano, pelo incentivo, dedicação,  
compreensão e companheirismo  
para esta realização.***

## **AGRADECIMENTOS**

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

A meus pais, Antônio Luiz e Edeleuza, pelo amor que precisei em todos os momentos, pelo conselho na hora difícil e por terem sido as peças fundamentais para que eu obtivesse sucesso nas coisas que me proponho a fazer.

Aos meus irmãos, Luciano, Lélis, Lesliane e Conceição, pelo amor, amizade, carinho, e, por todos os momentos vividos.

Ao meu esposo, Graciano, pelo amor, apoio, dedicação e companheirismo necessários para realização deste projeto de vida.

Ao estimado professor João Queiroz, meu orientador, pela orientação, amizade e paciência demonstradas em todos esses anos, fundamentais para minha formação profissional e pessoal. Ao senhor, professor, o meu muito obrigado.

A Jozilene uma grande amiga pelo incentivo e amizade essenciais nesta caminhada.

Aos amigos, Cláudio, Solange e Suelen pela amizade e carinho e também por terem me ajudado na realização de alguns ensaios.

A Juliana por ter me ajudado em uma importante etapa da pesquisa.

Ao professor Gelmires pelo apoio e contribuição para realização desta pesquisa.

Ao CNPQ, órgão que financia a pesquisa.

A UFCG por ser o intermediador de todos os conhecimentos técnicos adquiridos.

A todos que fazem parte da minha vida e que de alguma forma contribuíram para obtenção dessa conquista.

## RESUMO

A utilização de resíduos como materiais alternativos tem se mostrado satisfatório de acordo com algumas pesquisas realizadas. A cinza da casca do arroz (CCA) é um resíduo vegetal que causa impacto ambiental, sendo um material que apresenta grande potencial para ser utilizado no setor da construção civil na produção de argamassas e concretos, por apresentar elevado teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), podendo ser utilizada como pozolana. Esta pesquisa objetivou verificar a viabilidade da utilização da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento e revestimento. As matérias-primas convencionais e alternativas utilizadas para produção das argamassas foram caracterizadas quanto aos aspectos físicos, químicos e mineralógicos e para a CCA também foi avaliada sua pozolanicidade. Para o desenvolvimento da pesquisa foi inicialmente determinado o índice de consistência de cada proporção estudada e posteriormente confeccionadas argamassas de referência e com CCA para os traços 1:2:9 e 1:1:6 com 6%, 9%, 15%, 20% e 30% de CCA como substituto parcial do cimento para períodos de cura de 28, 63 e 91 dias. Os resultados obtidos para caracterização das matérias-primas atendem as exigências prescritas pelas normas da ABNT e para a CCA foi evidenciado sua pozolanicidade através de sua elevada superfície específica, do índice da atividade pozolânica e do seu comportamento mineralógico que mostrou ser predominantemente amorfo. Para os ensaios tecnológicos as argamassas 1:2:9 e 1:1:6 apresentaram resultados satisfatórios quanto aos desempenhos físico e mecânico, onde as argamassas com CCA obtiveram valores superiores aos das argamassas de referência, devido provavelmente a ocorrência das reações pozolânicas. Diante dos resultados obtidos pode-se concluir que a utilização da CCA na confecção de argamassas é viável tanto tecnicamente quanto ecologicamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Argamassas, Cinza da Casca do Arroz e Pozolanas.

## ABSTRACT

The use of residues as alternative materials have been shown satisfactory according to some studies. The husk rice ash (HRA) is a vegetal residue that causes ambient impact, but it has a great potential for use in civil engineering construction in the production of mortars and concrete, mainly because of its high content of silica ( $\text{SiO}_2$ ) and so it can be used as pozzolan. This research aimed to verify the viability of husk rice ash added to mortars for bricklaying and covering. Conventional and alternative raw materials used to produce mortars were characterized by the physical, chemical and mineralogical properties as well as to evaluate HRA as pozzolanic property. The development of the study firstly determinate the consistence of each mix studied after reference mortars and mortars with HRA mixes of 1:2:9 and 1:1:6 incorporated with 6%, 9%, 15%, 20% and 30% of HRA in partial substitution of cement for curing period of 28, 63 and 91 days. The results to characterize raw materials are in standard values established by Brazilian Standards (ABNT) and to HRA was used its pozzolanicity through high surface area, pozzolanic activity and its mineralogical properties which shown to be predominantly amorphous. To the technological testings, the mortars mixes of 1:2:9 e 1:1:6 showed satisfactory results in relation to the physical and mechanical performance, where the mortars with HRA incorporated had values superior to the reference mortars, probably due to pozzolanic reactions. With these results, it can be concluded that the utilization of HRA in mortars is feasible in relation to the technical and ecological aspects.

**KEYWORDS:** Husk Rice Ash; Mortars; Pozzolans.



# SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>18</b>
1.1 Considerações iniciais .....	18
1.2 Justificativas.....	20
1.3 Objetivos .....	21
1.3.1 Objetivos específicos.....	21
1.4 Estrutura da dissertação .....	22
<b>2. Fundamentação teórica.....</b>	<b>24</b>
2.1 Cinza da casca do arroz .....	24
2.2 Utilizações de materiais alternativos na construção civil.....	33
2.2.1 Casca de arroz .....	33
2.2.2 Lodo .....	33
2.2.3 Cinza da casca do arroz.....	34
2.2.4 Fibras de polipropileno .....	34
2.2.5 Cinza da casca da castanha do caju.....	34
2.2.6 Fibras de coco e de sisal.....	35
2.3 Argamassas .....	35
2.3.1 Materiais componentes das argamassas .....	36
2.3.1.1 Cimento .....	36
2.3.1.2 Cal Hidratada.....	38
2.3.1.3 Areia .....	41
2.3.2 Propriedades das argamassas.....	44
2.3.2.1 Propriedades das argamassas no estado fresco.....	44
2.3.2.1.1 Consistência .....	44
2.3.2.1.2 Trabalhabilidade .....	44
2.3.2.1.3 Plasticidade .....	45
2.3.2.1.4 Retenção de água .....	45
2.3.2.1.5 Densidade de massa e teor de ar incorporado.....	45
2.3.2.1.6 Adesão .....	46
2.3.2.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido.....	46
2.3.2.2.1 Resistência mecânica.....	46
2.3.2.2.2 Retração.....	47
2.3.2.2.3 Aderência .....	48
2.3.2.2.4 Permeabilidade.....	48
2.3.2.2.5 Módulo de elasticidade.....	49
2.3.3 Tipos de argamassa .....	49

2.3.3.1 Argamassa para assentamento.....	49
2.3.3.2 Argamassa para revestimento.....	50
<b>3. Materiais e métodos .....</b>	<b>54</b>
3.1 Materiais .....	54
3.1.1 Cimento .....	54
3.1.2 Cal .....	54
3.1.3 Cinza da casca do arroz (CCA) .....	54
3.1.4 Agregado miúdo .....	54
3.1.5 Água .....	54
3.2 Metodologia da pesquisa .....	55
3.2.1 Preparação da cinza da casca do arroz .....	57
3.2.2 Caracterização física .....	57
3.2.3 Caracterização mineralógica .....	57
3.2.3.1 Análise térmica .....	57
3.2.3.2 Análise química .....	58
3.2.3.3 Difração de raios – X.....	59
3.2.3.4 Análise granulométrica por difração a laser.....	60
3.2.4 Atividade pozolânica.....	60
3.2.5 Determinação do índice de consistência das argamassas.....	61
3.2.6 Preparação das argamassas.....	63
3.2.7 Moldagem das argamassas.....	65
3.2.8 Propriedades físicas e mecânicas .....	66
3.2.8.1 Densidade de massa no estado fresco .....	66
3.2.8.2 Teor de ar incorporado .....	66
3.2.8.3 Densidade de massa no estado endurecido.....	66
3.2.8.4 Absorção de água por imersão.....	66
3.2.8.5 Resistência à compressão simples .....	67
<b>4. Resultados e discussões .....</b>	<b>69</b>
4.1 Caracterização física, química e mineralógica .....	69
4.2 Índice de atividade pozolânica .....	84
4.3 Ensaios tecnológicos .....	84
4.3.1 Índice de consistência das argamassas.....	84
4.3.2 Densidade de massa no estado fresco .....	85
4.3.3 Teor de ar incorporado .....	86
4.3.4 Densidade de massa no estado endurecido.....	87
4.3.5 Absorção por imersão em água.....	88
4.3.6 Resistência à compressão simples .....	91

<b>5. Conclusões .....</b>	<b>96</b>
<b>6. Sugestões para futuras pesquisas.....</b>	<b>99</b>
<b>7. Referências bibliográficas .....</b>	<b>101</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Clinquer .....	37
Figura 2.2 – Ilustração da reação da cal hidratada quando utilizada em argamassa.....	40
Figura 2.3 – Mineração de areia.....	42
Figura 2.4 – Agregado miúdo .....	43
Figura 2.5 – Utilização de argamassa de assentamento na confecção de parede de alvenaria .....	50
Figura 3.1 – Fluxograma das etapas dos ensaios realizados na pesquisa.....	56
Figura 3.2 – Aparelho utilizado para determinação das análises térmica diferencial e termogravimétrica.....	58
Figura 3.3 – Aparelho utilizado para determinação da composição química ...	58
Figura 3.4 – Difratômetro de raios-X SHIMADZU XRD - 6000 .....	59
Figura 3.5 – Equipamento do ensaio de granulometria por difração a laser – CILAS 1064 .....	60
Figura 3.6 – Esquema do ensaio de determinação do índice de consistência, para determinação do espalhamento (“D”) mesa de consistência flow table....	62
Figura 3.7 – Procedimentos para determinação do índice de consistência.....	62
Figura 3.8 – Moldagem das argamassas de assentamento e revestimento.....	66
Figura 3.9 – Prensa SHIMADZU AG-IS para ensaios mecânicos .....	67
Figura 4.1 – Difratograma de raios X do cimento Portland CPIIF-32.....	71
Figura 4.2 – Curva das análises termogravimétrica e térmica diferencial do cimento Portland CPIIF-32 .....	71
Figura 4.3 – Distribuição granulométrica por difração a laser do cimento Portland CPIIF-32.....	72
Figura 4.4 – Difratograma de raios X da cal .....	74
Figura 4.5 – Curvas das análises termogravimétrica e térmica diferencial da cal .....	75
Figura 4.6 – Distribuição granulométrica por difração a laser da cal.....	76
Figura 4.7 – Curva granulométrica da areia (Zona 3).....	77
Figura 4.8 – Difratograma de raios X da cinza da casca do arroz .....	81

Figura 4.9 – Curvas das análises termogravimétrica e térmica diferencial da cinza da casca do arroz.....	82
Figura 4.10 – Distribuição granulométrica por difração a laser da cinza da casca do arroz .....	83
Figura 4.11 – Densidade aparente das argamassas 1:2:9 e 1:1:6 no estado fresco.....	86
Figura 4.12 – Teor de ar incorporado das argamassas 1:2:9 e 1:1:6 .....	86
Figura 4.13 – Densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias de cura para os traços 1:2:9 e 1:1:6 .....	88
Figura 4.14 – Teor de absorção das argamassas 1:2:9 para 28, 63 e 91 dias de cura.....	89
Figura 4.15 – Teor de absorção das argamassas 1:1:6 para 28, 63 e 91 dias de cura.....	90
Figura 4.16 – Resistência a compressão simples das argamassas 1:2:9 para 28, 63 e 91 dias de cura. ....	91
Figura 4.17 – Resistência a compressão simples das argamassas 1:1:6 para 28, 63 e 91 dias de cura. ....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Percentual de cinzas geradas por resíduos agrícolas. ....	25
Tabela 2.2 – Composição química da CCA, segundo vários autores.....	26
Tabela 2.3 – Histórico de estudos sobre a utilização da CCA.....	27
Tabela 2.4 – Classificação do agregado miúdo quanto à dimensão .....	43
Tabela 2.5 – Exigências mecânicas e reológicas para argamassas de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 1995) .....	47
Tabela 3.1 – Ensaio realizados para caracterização física dos materiais.....	57
Tabela 3.2 – Valores dos traços em volume e em massa .....	65
Tabela 4.1 – Propriedades físicas do CPIIF – 32 .....	69
Tabela 4.2 – Composição química do cimento Portland CPIIF – 32 .....	70
Tabela 4.3 – Propriedades físicas da cal.....	73
Tabela 4.4 – Composição química da cal.....	74
Tabela 4.5 – Propriedades do agregado miúdo (areia) .....	76
Tabela 4.6 – Propriedades físicas da CCA.....	78
Tabela 4.7 – Composição química da cinza da casca do arroz.....	80
Tabela 4.8 – Propriedades químicas para o índice de atividade pozolânica ....	80
Tabela 4.9 – Relação água/aglomerante, teor de água e índice de consistência das argamassas .....	85

## ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

$\text{Al}_2\text{O}_3$  – óxido de alumínio

ARI – alta resistência inicial

ASTM – American Society for Testing and Materials

$\text{C}_2\text{S}$  – silicatos dicálcico

$\text{C}_3\text{A}$  – aluminato tricálcico

$\text{C}_3\text{S}$  – silicatos tricálcicos

$\text{C}_4\text{AF}$  – ferroaluminato tetracálcico

$\text{CaCO}_3$  – carbonato de cálcio

$\text{CaO}$  – óxido de cálcio (cal livre)

$\text{Ca(OH)}_2$  – hidróxido de cálcio

$\text{CO}_2$  – dióxido de carbono

CA – Casca do arroz

CCA – Cinza da casca do arroz

CCCC – Cinza da casca da castanha de caju

CH – hidróxido de cálcio

CP – Corpo de prova

CPIIF – cimento Portland composto com filler

C-S-H – silicatos de cálcio hidratados

DRX – difração de raios - X

DTA – Análise térmica diferencial

ETA – Estação de Tratamento de Água

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  – óxido de ferro

$\text{H}_2\text{O}$  – água

HRA – Husk rice ash

IP – Índice de pozolanicidade

$\text{K}_2\text{O}$  – óxido de potássio

KN – quilo Newton

MF – Módulo de finura

$\text{MgO}$  – óxido de magnésio

$\text{Mg(OH)}_2$  – hidróxido de magnésio

$\text{Na}_2\text{O}$  – óxido de sódio

NA – número de angulosidade

NBR – Norma Brasileira Registrada

PB – Paraíba

RCS – Resistência a compressão simples

RN – Rio Grande do Norte

rpm – revolução por minuto

$\text{SiO}_2$  – dióxido de silício (sílica)

TG – Análise termogravimétrica

$\text{Ti}_2\text{O}$  – óxido de titânio



## SÍMBOLOS

° – grau

°C – grau Celsius

cm – centímetro

kg – quilograma

kV – quilo volts

l – litro

mA – miliamperes

min – minuto

ml – mililitros

mm – milímetro

MPa – megapascal

nº – número

s – segundos

% – percentagem

$\theta$  – ângulo teta

# CAPÍTULO 1

## Introdução, Justificativas, Objetivos e Estrutura da dissertação



## **1. Introdução**

### **1.1 Considerações iniciais**

Os impactos causados pelo homem ao meio ambiente é uma preocupação constante. Por isso pesquisas estão sendo realizadas com o objetivo de lançar novos materiais no mercado e para que isso aconteça deve-se procurar avançar em técnicas de reaproveitamento de materiais alternativos, como forma de atenuar os impactos ambientais causados pelos mesmos.

A reciclagem de resíduos é uma das maneiras de diversificar a oferta de matéria-prima para a utilização como materiais de construção, viabilizando reduções de preço. Assim, a reciclagem de resíduos como entulho, resíduos agrícolas, resíduos industriais, resíduos de mineração, entre outros, contribuem para a preservação ambiental (LIMA, 2005 apud SOUZA, 2008).

A agroindústria, por ser um dos maiores geradores de resíduos, causa grande preocupação, pois com todo esse volume de descarte de forma irregular vem desencadeando diversos problemas ambientais, poluindo o solo, a água e o ar. Um dos setores mais abrangentes para aplicação destes é a construção civil, com aplicações em especial em concretos e argamassas, tornando possível através de estudos uma destinação final adequada para estes resíduos.

O uso de resíduos para componentes da construção civil, tem sido um dos temas mais trabalhados e debatidos por pesquisadores nos últimos tempos. Com a possibilidade de se conquistar uma melhor colocação para o setor a partir da adoção e do emprego destes resíduos em materiais para vedação (blocos, tijolos e argamassas), pesquisadores vem buscando conscientizar ceramistas, construtores, professores e o próprio mercado consumidor quanto à importância da qualidade deste produto para as habitações, (PRUDÊNCIO JÚNIOR et al., 2003).

Para que novos materiais sejam utilizados na construção civil, eles devem atender as exigências físicas e mecânicas de acordo com a normalização, como por exemplo, ser resistente, durável, trabalhável entre outras características para que sejam melhores ou iguais aos produtos já existentes no mercado. Essas exigências são necessárias porque o setor da

construção civil necessita oferecer para o mercado, materiais que tenham boa qualidade e vida útil.

Resíduos vegetais, como a cinza da casca do arroz, vêm sendo estudados por vários pesquisadores, estes por sua vez observaram que esta cinza apresenta bons resultados quanto aos aspectos físicos e mecânicos quando utilizadas em argamassas e concretos. Esta utilização se torna satisfatória devido às cinzas possuírem elevado teor de sílica, apresentando características pozolânicas, ou seja, quando trabalhadas isoladamente, as cinzas não apresentam caráter aglomerante, porém quando reduzidas a pó fino e em presença de água, estas reagem com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) e formam compostos cimentantes.

A utilização da cinza é de grande valia para o meio ambiente, pois esta quando descartada provoca poluição, por apresentar em sua constituição certa quantidade de carbono residual. A cinza é um grave agente poluidor dos solos e é considerada também altamente prejudicial para a saúde humana, pois apresenta um alto teor de sílica que pode ocasionar, quando de grande exposição, uma afecção pulmonar conhecida como “silicose”.

Nesta pesquisa utilizou-se a cinza da casca de arroz considerada residual, proveniente de queima sem controle de temperatura, a céu aberto, no município de Caíco – RN com o propósito de caracterizar e avaliar o desempenho deste resíduo em argamassas de assentamento e revestimento.

## 1.2 Justificativas

Na construção civil, a busca por materiais alternativos vem se tornando cada vez mais constante. A grande preocupação acerca do desenvolvimento destes novos materiais exige investigações quanto à durabilidade, qualidade e viabilidade da utilização destes novos materiais. Estes são aspectos cruciais para produtos da construção civil, pois deve ser considerada, a complexidade dos mecanismos de degradação, a prolongada vida útil destes produtos e o elevado custo das obras de construção civil.

O reaproveitamento de resíduos se apresenta atualmente como sendo primordial para resolução de parte dos problemas ambientais causados por estes, tanto em função da atenuação de desperdícios de recursos naturais, quanto na redução dos impactos ambientais provocados pela disposição final dos resíduos. Esse reaproveitamento desencadeou uma preocupação maior, provocando desta forma o surgimento de uma legislação ambiental muito rigorosa, fazendo com que o gerador de resíduos procure descartá-lo de maneira que não agrida o meio ambiente (TASHIMA et al., 2004).

A cinza da casca do arroz de acordo com pesquisas já realizadas contribui para o aumento da resistência à compressão simples, da durabilidade de argamassas e concreto e conseqüentemente à diminuição da porosidade (SOUZA, 2008).

A cinza é utilizada como substituto parcial do aglomerante devido apresentar alto teor de sílica, o que favorece as qualidades deste material e estas qualidades podem favorecer a diminuição na deterioração do concreto e da armadura, resultando na obtenção de concretos resistentes à poluição e às intempéries, pisos resistentes à abrasão, etc.

Por todos os motivos apresentados e pelos benefícios que a cinza da casca do arroz pode trazer para construção civil e para diversos outros setores é que caracteriza a necessidade de estudar e avaliar o seu desempenho como material alternativo em argamassas de assentamento e revestimento.

### **1.3 Objetivos**

Esta pesquisa objetivou estudar a viabilidade da utilização do resíduo cinza da casca do arroz como substituto de parte do cimento em argamassas de assentamento e revestimento.

#### **1.3.1 Objetivos específicos**

- Caracterizar físico, químico e mineralogicamente as matérias-primas convencionais e alternativas;
- Estudar a atividade pozolânica da cinza da casca do arroz;
- Determinar o índice de consistência adequado para todas as argamassas, de referência e com incorporação da cinza da casca do arroz como substituto parcial do cimento;
- Analisar a influência dos teores de substituição da CCA nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas;
- Comparar as argamassas convencionais com as alternativas e as normas da ABNT.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

O trabalho será constituído por uma estrutura composta por sete capítulos, onde no primeiro são apresentadas a importância do tema, as justificativas e os objetivos da pesquisa.

No Capítulo dois está apresentada uma fundamentação teórica sobre a cinza da casca do arroz, material estudado na pesquisa, e argamassas de assentamento e revestimento utilizadas na construção civil.

No Capítulo três estão descritas as matérias-primas usadas na pesquisa e a metodologia para realização dos ensaios.

No Capítulo quatro, estão a análise e discussão dos resultados dos ensaios.

No Capítulo cinco, são apresentadas as conclusões dos ensaios realizados, do projeto experimental.

No Capítulo 6 estão as sugestões para trabalhos futuros.

E no Capítulo 7 são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para realização desta pesquisa.

## CAPÍTULO 2

### Fundamentação teórica





## 2. Fundamentação teórica

### 2.1 Cinza da casca do arroz

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

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

O percentual de sílica na casca do arroz varia de acordo com a safra, ou seja, o tipo de arroz plantado, do clima e das condições do solo, além da localização geográfica (AMICK, 1982; GOVINDARAO, 1980; HOUSTON, 1972 apud POUHEY, 2006).

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

Após a queima da matéria orgânica é obtida a CCA de difícil degradação e com poucos nutrientes para o solo (DELLA et al., 2005). Dentre os resíduos agroindustriais utilizados, as cinzas vegetais podem ser destacadas, pois apresentam composição físico-química com potencial para produção de material aglomerante (FERREIRA et al., 1997 apud MILANI, 2008). De todas as cinzas provenientes de resíduos agro-industriais, a casca de arroz é a que produz maior percentual de cinzas quando queimada, podendo observar esses dados na Tabela 2.1.

A CCA pode ser obtida por processos de queima que se classificam como sistema artesanal, semi-industrializado e industrializado. No processo artesanal, a CA é queimada sem controle de temperatura em grelhas dispostas paralelamente; no processo semi-industrializado, o ar é injetado através de

duto metálicos para o interior de um cilindro onde a casca de arroz cai e é incinerada; e o processo industrializado, ou seja, na forma automatizada, não existe controle de temperatura de queima, mas da pressão de vapor gerada em função da queima (DELLA, 2001 apud FERREIRA, 2005).

Tabela 2.1 – Percentual de cinzas geradas por resíduos agrícolas

CEREAL	PARTE DA PLANTA	CINZA (% EM PESO)
Milho	Folha	12
Arroz	Casca	20
Arroz	Palha	14
Cana-de-açúcar	Bagaço	15
Girassol	Folhas e talo	11
Trigo	Folhas	10

Fonte: MEHTA, (1992) apud PRUDÊNCIO JÚNIOR et al., (2003)

De acordo com FREIRE (2003) apud LEIRIAS et al., (2005) a CCA é um dos produtos de origem vegetal mais utilizado em pesquisas com características aglomerantes dentre as cinzas vegetais. Alguns fatores levam a esta afirmação, como:

- o volume de cinza produzida após queima da casca de arroz é um dos maiores dentre os vegetais;
- a sílica presente na casca de arroz possui estrutura alveolar e elevada área específica;
- o plantio de arroz é de grande proporção em todo mundo.

A CCA tem como um dos maiores componentes químicos a sílica ( $\text{SiO}_2$ ) estando em aproximadamente 74% a 97% em sua composição e este fato independe do processo de queima a qual foi submetida (TASHIMA et al., 2004).

Para PRUDÊNCIO JÚNIOR et al., (2003), após queimada, a cinza da casca de arroz é composta basicamente por dióxido de silício, ou sílica, os demais compostos que podem ser encontrados na composição química da CCA são óxidos como,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MnO}$  e  $\text{Cl}$ , apresentando pequenos percentuais. Na Tabela 2.2 estão contidas

composições químicas da CCA segundo diversos autores e pelos resultados obtidos observa-se que o teor de sílica é afetado pelo elevado percentual de perda ao fogo.

Tabela 2.2 – Composição química da CCA, segundo vários autores

Amostra/ Tratamento	Composição típica em óxidos (% em peso)										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF
Cook (1977)	93,00	0,60	0,15	nd	0,42	0,43	0,04	1,05	nd	nd	2,77
Sallas (1986)	91,26	0,94	0,37	nd	0,88	2,15	nd	nd	nd	nd	nd
Cincotto(1988)	94,70	0,09	1,46	nd	0,95	0,99	0,04	1,75	nd	nd	7,29
Guedert (1989)	93,11	0,92	0,40	nd	0,85	0,52	0,12	1,12	nd	nd	nd
Farias (1990)	91,78	0,60	0,34	nd	0,52	0,50	0,11	1,30	nd	nd	nd
Sugita (1992)	90,00	0,10	0,40	nd	0,30	0,40	0,06	2,41	nd	nd	4,20
Isaia (1995)	78,60	2,30	2,30	nd	0,80	1,00	0,01	0,56	nd	nd	11,8
Fonseca (1999)	83,68	0,17	0,17	0,66	nd	1,03	nd	3,65	nd	1,34	8,54
Della (2001)	72,10	0,30	0,15	0,15	0,70	0,43	0,50	0,72	0,05	0,60	24,3
Qingge (2005)	92,40	0,30	0,40	0,11	0,30	0,70	0,07	2,54	nd	0,11	2,31

PF – perda ao fogo      nd – não divulgado

Fonte: POUÉY, (2006)

De acordo com ALMEIDA (1996) apud SOUZA (2008), a sílica ativa age em concretos e argamassas de duas formas, uma delas é quimicamente através da reação pozolânica, ou seja, reagindo com o hidróxido de cálcio para formar os resistentes silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) favorecendo a resistência da pasta do cimento, a outra forma é fisicamente através do efeito “filler”, ou seja, de acordo com as dimensões de suas partículas, preenchendo os vazios da estrutura, contribuindo para melhoria da coesão e compacidade do concreto fresco e também refinando a estrutura de poros do material, agindo como ponto de nucleação dos compostos de hidratação do cimento.

As sílicas ativas agem quimicamente no processo de hidratação de acordo com a disponibilidade do hidróxido de cálcio. A sílica deixa de reagir quimicamente de maneira significativa como um aglomerante, depois de certo tempo e o restante da sílica passa a atuar como um filler inerte, contribuindo fisicamente.

O efeito filler acontece porque os finos preenchem os vazios entre as partículas maiores (efeito de empacotamento), e como consequência, reduz o tamanho dos vazios pela segmentação dos poros maiores na pasta e a

porosidade, e aumenta a durabilidade do concreto. Este é o fenômeno que ocorre entre as partículas da sílica e as do cimento, geralmente com dimensões bem maiores. Além disso, a presença de fillers aumenta a quantidade de locais de nucleação para a precipitação dos produtos de hidratação da pasta de cimento, acelerando as reações e formando cristais menores de hidróxido de cálcio (SENSALE, 2000).

Pesquisas científicas sobre o uso da cinza da casca do arroz vêm sendo realizadas há muitos anos, TIBONI (2007) em sua pesquisa apresentou um histórico dos principais trabalhos referentes à utilização desta cinza, podendo ser observado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Histórico de estudos sobre a utilização da CCA

Ano	Local	Autor (es)	Trabalho (s)
1924	Alemanha	BEAGLE	Utilização de Casca de Arroz no concreto
1940 e 1950	-	DIVERSOS	Blocos confeccionadas com cimento Portland e cinza e casca de arroz
1973	Bélgica	METHA	Primeira Patente no Assunto
1976	-	PITT	Controle de combustão em leito fluidizado
1978	Índia	METHA E PIRTZ	Substituição de Cimento Portland por CCA em concreto massa
1979	Índia	PRAKASH	Utilização de CCA em trabalhos de alvenaria e fundações
1979	Paquistão	-	Primeiro Workshop sobre o assunto
1981	Ásia	COOK	Estudo da fluência e retração de concretos de cimento Portland com a adição de CCA
1982	Japão	-	Produção e Emprego de CCA como material cimentício
1984	Israel	HANA YOUSIF	Efeito da queima e moagem nas propriedades de argamassa
1986	Índia	JAMES E RAO	Morfologia e características químicas e físicas da CCA
1989	Tailândia	HWANG E WU	Hidratação e microestrutura de pastas de cimento produzidas com diferentes CCAs
1994	EUA	METHA	Patente relativa a produtos altamente duráveis com cinzas, com o emprego de 5 a 30% de CCA substituindo o cimento
1995	Brasil	ISAIA	Efeito de misturas binárias e ternárias de Pozolanas em Concreto de Alto desempenho
1999	Brasil	GAVA	Estudo comparativo de diferentes metodologias para avaliação da Atividade Pozolânica
2001	Espanha	PAYA	Determinação da sílica amorfa na CCA por um rápido método analítico
2003	Brasil	PRUDÊNCIO, SANTOS E DAFICO	Revisão sobre CCA, incluindo processos de queima e tratamentos realizados para a obtenção de sílica da casca de arroz
2005	Brasil	ISAIA	Cinza de casca de Arroz in: Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações
2006	Brasil	POUEY	Beneficiamento da Cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.
2008	Brasil	METHA E MONTEIRO	Cinza de casca de arroz in: Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais
2009	Brasil	SANTOS	Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil

Fonte: SILVA, (2009)

A adição da cinza da casca do arroz (sílica) misturada ao cimento juntamente com os demais agregados (gráudo e miúdo), permite a elaboração do concreto mais compacto e com menor quantidade de vazios, diminuindo assim a porosidade promovendo maior durabilidade e ficando menos vulneráveis ao ataque de agentes agressivos. Estes concretos segundo estudos poderão ser utilizados em obras que necessitam de materiais com ótimas características mecânicas, tais como obras a grandes profundidades (como futuros laboratórios marítimos para pesquisar a fauna e a flora), até 11 mil metros, isso por este concreto possuir resistência superior aos demais. Podendo também ser utilizados em celas de presídio, pistas de pouso de aviões e outras construções que exijam material de grande resistência.

### **2.1.1 Influência da temperatura de queima da CCA**

A temperatura de queima da cinza é um fator muito importante para determinar a morfologia da cinza da casca do arroz. Estudos já realizados verificaram que as cinzas apresentam morfologias diferentes de acordo com o tipo de queima a que foi submetida. A atividade pozolânica da CCA está diretamente relacionada à composição morfológica como também ao tempo de moagem desta cinza (TASHIMA et al., 2004).

A CCA quando produzida a partir de queima controlada, com temperatura inferior a 600 °C possui na sua morfologia a presença de sílica no estado amorfo, obtendo desta forma maior reatividade com o cimento e com a cal. Na realidade não se tem relatos deste tipo de procedimento, porque a maior parte da cinza é produzida sem controle de temperatura. Quando queimada a temperaturas muito elevadas, observa-se o surgimento de fases cristalinas na estrutura morfológica, diminuindo desta forma a reatividade com outros componentes, sendo desta forma inviável para utilização em concretos e argamassas (TASHIMA et al., 2004). De acordo com METHA E MONTEIRO (1994) a cinza residual é classificada como pozolana pouco reativa, então sugere-se que este material seja moído até se obter um pó fino para que possa ter atividade pozolânica.

Algumas pesquisas comprovam que mesmo as cinzas originadas de processos de queima não controlados podem apresentar características pozolânicas satisfatórias (ISAIA, 1995; RÊGO et al., 2004; TASHIMA et al.,

2004; FAGURY & LIBÓRIO, 2004; SENSALÉ & REINA, 2004 apud SACILOTO, 2005).

NAIR et al., (2008) observaram que de acordo com algumas técnicas como, análises químicas (Absorção por Massa Atômica, Fluorescência de Raio-X), formação de silicato de cálcio hidratado (Difração de Raio-X), medidas de condutividade elétrica, ressonância magnética nuclear e microscopia eletrônica de varredura, que a temperatura considerada ótima para a formação de CCAs reativas devem estar na faixa de 500 °C a 700 °C.

### **2.1.2 Influência da moagem da CCA**

Quanto à moagem da cinza residual, alguns pesquisadores como SANTOS E PRUDÊNCIO (1998), CORDEIRO (2006), entre outros, observaram que o tempo ideal de moagem, ou seja, a granulometria ideal da cinza também é variável. Um dos fatores que influenciam no tempo de moagem da cinza é a temperatura da casca do arroz, pois o aumento da temperatura promove o agrupamento das partículas. Neste caso, é necessário um tempo de moagem maior ou ainda uma relação maior entre o peso de bolas do moinho e a quantidade de cinza a ser moída.

SANTOS E PRUDÊNCIO (1998) apud TASHIMA et al., (2004) pesquisaram o efeito do tempo de moagem na pozolanicidade da cinza e na resistência à compressão de argamassas. Eles observaram que quando se aumenta o tempo de moagem da cinza obtêm-se uma melhoria significativa nos resultados dos ensaios e que a resistência a compressão da argamassa é maior com um teor de substituição de 15%.

CORDEIRO (2006) apud SILVA (2009) verificou em seus estudos de moagem desenvolvidos com a cinza residual da casca de arroz possibilitaram verificar que a moagem ultrafina foi adequada para conferir elevada atividade pozolânica ao material. As moagens realizadas por períodos de 120 min e 240 min em moinho vibratório determinaram às cinzas de maior atividade pozolânica, tanto com relação aos desempenhos mecânicos quanto químicos.

MEIRA et al., (2007) apud SILVA (2009) observaram que concretos com 15% e 20% de CCA (substituto parcial do cimento) moída e com 15% de CCA natural em ensaios realizados nos corpos-de-prova, apresentaram acréscimos nas resistências axiais aos 91 dias em relação aos concretos de referência

(sem adição mineral). Com relação aos concretos com 25% de CCA natural tiveram uma queda de cerca de 30%, em média, na resistência à compressão aos 91 dias.

### 2.1.3 Cinza da Casca do arroz como pozolana

As pozolanas são substâncias constituídas de sílica e alumina que, em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio e com diferentes componentes do cimento formando compostos estáveis à água e com propriedades aglomerantes.

As pozolanas beneficiam as argamassas e concretos de duas maneiras: quimicamente pelo seu efeito pozolânico e fisicamente pelo efeito fíller.

A cinza da casca do arroz, como adição mineral, foi classificada por MEHTA E MONTEIRO (1994), em duas categorias de pozolanas:

- **pozolana altamente reativa:** proveniente de processo de queima controlado, constituída essencialmente de sílica pura, amorfa e em estrutura celular;
- **pozolana pouco reativa:** proveniente de processos de queima em campo aberto, constituída basicamente por silicatos cristalinos e um pequeno teor de matéria amorfa, indicando que este material, se moído e reduzido a um pó muito fino, tem atividade pozolânica.

A reação pozolânica, é a reação da adição com o hidróxido de cálcio formado pela hidratação ou silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Esta reação é mais lenta que a reação de hidratação do  $C_3S$  do cimento Portland, implicando em uma taxa de liberação de calor e de desenvolvimento da resistência mais lentos também. Além disso, o C-S-H formado pela reação pozolânica apresenta características melhores (TIBONI, 2007), e em presença de outras reações químicas, pode ser acelerada pela temperatura e por aceleradores químicos.

De acordo com MEHTA (1983) apud TIBONI (2007) reação pozolânica não corresponde apenas às reações entre hidróxido de cálcio e sílica, mas engloba todas as reações cimentícias no sistema  $CaO - SiO_2 - Al_2O_3 - Fe_2O_3 - SO_3 - H_2O$ .

Na cinza amorfa com características pozolânicas, fatores como temperatura de queima, taxa de aquecimento, tempo de residência e ambiente de queima (disponibilidade de oxigênio) são responsáveis pela reatividade

química da cinza, uma vez que influenciam na forma estrutural da sílica (amorfa ou cristalina), na superfície específica das partículas e no teor de carbono remanescente (CORDEIRO, 2006). Com relação à área específica, ela tem grande influência na atividade pozolânica porque está diretamente correlacionada à finura do material, influenciando no grau de atividade pozolânica. Seu comportamento é influenciado pela distribuição de partículas, forma e rugosidade superficial das mesmas, bem como a distribuição dos poros existentes (TIBONI, 2007).

As cinzas como materiais pozolânicos têm sido estudadas desde a década de 1970, através dos estudos realizados por MEHTA (1978), PITT (1976) e MEHTA e PITT (1976). A partir da década de 1980, o interesse por pozolanas de elevada reatividade, principalmente pela maior conhecimento sobre o concreto de alto desempenho, impulsionou as pesquisas com vistas à utilização da cinza da casca de arroz em substituição parcial do cimento Portland (CORDEIRO, 2006).

ISAIA (1995) questiona em sua pesquisa a influência da cinza da casca do arroz que tenha em sua composição a presença marcante de fases cristalinas, pois alguns autores caracterizam este tipo de cinza como sendo de baixa pozolanicidade, sem que apresentem resultados quanto ao baixo desempenho quando adicionadas a concretos ou argamassas. O autor questiona a importância destas fases cristalinas nas pozolanas para o desempenho dos concretos, quando analisadas isoladamente. Para ISAIA (1995) o importante é a influência destas pozolanas quando utilizadas como substituto parcial do cimento, apresentando melhor desempenho que as misturas de referência.

ZHANG E MALHOTRA (1996) pesquisaram concretos com adição de CCA e sílica ativa e ao compararem os resultados obtidos pelos dois tipos, verificaram que a adição de CCA aumenta a velocidade de hidratação, conseqüente da reatividade pozolânica da CCA e que estes concretos apresentaram maior resistência que os concretos de referência, porém valores inferiores com relação aos concretos com sílica ativa.

SENSALE (2000) constatou em sua pesquisa que a cinza residual embora não seja a mais ideal para utilização como adição mineral em concretos e argamassas, ela possui pequena quantidade de material amorfo o



que garante reação quando associado à finura das partículas, melhorando as propriedades dos concretos e argamassas. Concluiu também que os resultados obtidos mostram a viabilidade do uso da cinza residual como material cimentício complementar.

FENG et al., (2003) observaram que ao controlar a temperatura de queima e do tempo de moagem pode-se produzir CCA de elevada reatividade e com isso utilizá-la como substituto parcial do cimento na produção de concretos de alta resistência. Eles investigaram as resistências de concretos com diversos teores de CCA, com controle de queima e moagem. De acordo com os resultados obtidos verificaram que a resistência à compressão aumentou com a elevação do teor de substituição.

RÊGO & FIGUEIREDO (2002) em sua pesquisa ao estudar a influência do tempo de moagem no índice de atividade pozolânica, observaram que quanto maior o tempo de moagem maior é a influência no índice de atividade pozolânica, eles verificaram que para períodos de 3h e 5h houve diminuição no tamanho médio das partículas elevando conseqüentemente seu índice de atividade pozolânica com o cimento de 77,7% para 84,5%.

RODRÍGUEZ DE SENSALE & REINA (2004) apud SACIOTO (2005) avaliaram a utilização da cinza de casca de arroz residual, sem controle de queima, como adição mineral em concretos de alto desempenho. Para esta cinza obtiveram um bom desempenho como pozolana, devido o elevado índice de atividade pozolânica e com relação à resistência à compressão ela foi aumentando de acordo com o aumento do período de cura.

SALAS et al., (2007) apud SILVA (2009) avaliaram a influência de tratamentos químicos e térmicos nas propriedades pozolânicas da CCA. Concluíram para este estudo que a CCA tratada química e termicamente superou a sílica ativa na resistência à compressão do concreto e a CCA sem tratamento obteve desempenho semelhante ao traço de referência.

CORDEIRO et al., (2008) apud SILVA (2009) verificaram, utilizando vários métodos de ensaio para avaliar a pozolanicidade (IAP com cimento, Fratini, Chapelle e propriedades do concreto com até 20% de substituição de cimento por CCA), que é possível obter CCAs cristalinas e com alto teor de carbono altamente reativas desde que tenha sua granulometria levada à condição de ultrafina, ou seja, aproximadamente 6 µm.

## **2.2 Utilizações de materiais alternativos na construção civil**

O grande avanço da escassez dos recursos naturais tem desencadeado a incessante busca por materiais alternativos ecologicamente corretos principalmente no ramo da construção civil. Estes novos materiais vêm sendo estudados, com o intuito de verificar sua potencialidade e atender as condições de redução de custos, melhoria nas propriedades mecânicas e durabilidade, além do que, estudos são necessários para que estes sejam utilizados de maneira adequada.

### **2.2.1 Casca de arroz**

MARTINEZ et al., (2005) pesquisou a utilização da casca de arroz na confecção de painéis de fechamento verticais para substituir os tijolos cerâmicos, verificando as propriedades físicas e mecânicas, concluindo a viabilidade e ambiental do produto.

SOUZA (2008) pesquisou a viabilidade da utilização da casca do arroz em argamassas como substituto de parte do agregado miúdo (areia), objetivando melhorias quanto às propriedades físicas e mecânicas. Concluiu que as argamassas com casca de arroz apresentaram bom comportamento mecânico com relação às argamassas sem a casca de arroz, concluindo desta forma que a utilização deste produto é viável do ponto de vista físico e mecânico do produto, porém recomenda-se percentuais inferiores a 20%.

### **2.2.2 Lodo**

KANGUE et al., (2007) estudaram a substituição parcial do agregado miúdo (areia) por lodo no estado seco e moído, da Estação de Tratamento de Água (ETA) de São Carlos, em concretos e argamassas, além disso desenvolveram também estudos sobre a utilização de entulho de concreto da Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição de São Carlos, em substituição de parte do agregado graúdo (pedra britada). As argamassas alternativas produzidas com entulho do concreto e lodo de ETA apresentaram melhor resistência à compressão axial que as argamassas produzidas com agregado miúdo natural (areia) e lodo de ETA.

### **2.2.3 Cinza da casca do arroz**

SOUZA (2008) utilizou a cinza da casca do arroz em substituição parcial do aglomerante (cimento) para confecção de argamassas, com o objetivo de melhorar as propriedades físicas e mecânicas. As argamassas obtiveram comportamento mecânico superior as argamassas convencionais (sem CCA).

TIBONI (2007) estudou a viabilidade da aplicação de um resíduo das termoelétricas da indústria de beneficiamento do arroz, a cinza da casca do arroz (CCA), como adição mineral em concretos duráveis. Os resultados evidenciaram que o uso da CCA em compósitos à base de cimento é viável, além de ser ecologicamente correto.

### **2.2.4 Fibras de polipropileno**

SILVA (2006) pesquisou a influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas para revestimento, quanto ao seu comportamento mecânico e reológico. Constatou-se que a adição destas fibras influencia na reologia das argamassas, pois apresentaram alterações no teor de ar incorporado, além de modificarem as características da matriz original e influenciaram também no que diz respeito ao comportamento mecânico.

### **2.2.5 Cinza da casca da castanha do caju**

LIMA et al., (2008) em sua pesquisa, avaliaram a viabilidade técnica do uso da cinza da casca da castanha de caju (CCCC) como adição mineral em matrizes de cimento Portland. Esta avaliação foi realizada através de estudos da pozolanicidade e da resistência mecânica de argamassas. Os resultados obtidos para o índice de pozolanicidade (IP) das amostras com CCCC não atingiram o valor mínimo exigido pelas normas, mas o IP não pode ser considerado o único parâmetro a ser avaliado para determinar a reatividade de uma cinza. Avaliaram-se também a resistência à compressão da argamassa com teores de CCCC e os resultados obtidos indicaram que apenas os teores abaixo de 5% de CCCC apresentaram valores correspondentes ao traço convencional (sem CCCC) e os valores de CCCC acima de 5% reduziram em mais de 70% os valores da resistência à compressão das argamassas até os 91 dias.

### **2.2.6 Fibras de coco e de sisal**

TOLEDO FILHO (1990) apud SOUZA (2008) utilizou fibras de coco e de sisal, misturadas ao solo para melhorar suas propriedades e deu início a estudos neste domínio. Em seguida, SOUSA (1993), em sua dissertação de mestrado, deu início a um estudo de solos estabilizados com fibras vegetais, para a fabricação de tijolos prensados.

## **2.3 Argamassas**

Há vários registros de uso de argamassas pelos egípcios, etruscos, gregos e romanos, mas acredita-se que as primeiras argamassas surgiram na Pérsia antiga, onde se usava alvenaria de tijolos secos, com assentamento de argamassas de cal (ROCHA, 2005). Em Roma durante o Império Romano, as argamassas se desenvolveram como sistema construtivo, sendo assim utilizadas e aprimoradas desde então.

As primeiras misturas utilizadas na junção de blocos de alvenaria são chamadas de “argamassas”, palavra que etimologicamente corresponde a misturas de cal, água e areia para construções (GUIMARÃES E CINCOTTO, 1985 apud ROCHA, 2005).

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

As argamassas são constituídas por material ativo e material inerte, que são a pasta e o agregado miúdo respectivamente. A pasta é uma mistura do(s) aglomerante(s) com água sendo responsável pela ligação dos grãos de areia entre si, com a função de formar uma mistura homogênea. O material inerte oferece uma economia no produto final e ajuda a eliminar em parte a retração por secagem.

As argamassas podem ser utilizadas em:

- assentamento de tijolos e blocos, azulejos, ladrilhos, cerâmicas e tacos;

- impermeabilização de superfícies;
- regularização (tapar buracos, eliminar ondulações, nivelar e aprumar) de paredes, pisos e tetos;
- dar acabamento às superfícies (liso, áspero, rugoso, etc.).

### **2.3.1 Materiais componentes das argamassas**

#### **2.3.1.1 Cimento**

Cimento Portland é uma substância alcalina, cuja composição é formada em sua maior parte de silicatos e aluminatos de cálcio que, por hidrólise, originam compostos cristalinos hidratados e gel. Os silicatos e aluminatos liberam hidróxido de cálcio durante a reação com a água. Os cristais aciculares acabam se entrelaçando à medida que avança o processo de hidratação, criando a estrutura que vai assegurar a resistência típica das pastas, argamassas e concretos (TAYLOR, 1992 apud MILANI, 2008).

De acordo com MILANI (2008) o processo tecnológico de obtenção do aglomerante hidráulico acontece através da mistura de rocha calcária (britada e moída) com a argila (moída). Essa mistura passa por um forno giratório, com temperatura que atinge até 1450 °C. O calor transforma a mistura em um novo material chamado de “clínquer”, que é um composto granulado, escuro, fosco, com propriedades hidráulicas (Figura 2.1).

O clínquer do cimento Portland sai do forno como uma mistura de duas fases de silicatos bem cristalizados, os quais são conhecidos como: silicatos tricálcicos ou alita ( $C_3S$ ), silicatos dicálcico ou belita ( $C_2S$ ), e uma fase intersticial composta de fase aluminato ( $C_3A$ ) e a fase ferrita ( $C_4AF$ ), mais ou menos cristalizada. Além destas fases, também podem ser encontradas poucas impurezas como o periclásio (MgO), óxido de cálcio endurecido (CaO) e sulfatos alcalinos (TIBONI, 2007).

O silicato tricálcico ( $C_3S$ ) é normalmente preponderante (50% a 70%) na composição do cimento Portland e aparece no formato de pequenos grãos de dimensionais equivalentes e incolores (NEVILLE, 1997 apud TIBONI, 2007). O  $C_3S$  reage nos primeiros minutos e ocasiona elevado calor de hidratação, além de propiciar baixa resistência e forte retração. Os cimentos de alta resistência inicial (ARI) são ricos em  $C_3S$ .



Figura 2.1 – Clínquer

Fonte: BATAGIN, (2004)

O silicato dicálcico é responsável pelo desempenho mecânico nas idades iniciais e proporciona alto desprendimento de calor e a liberação de cerca de 40% de massa de hidróxido de cálcio (CH) (SOUZA, 2008). O  $C_2S$  pode ter três, ou até quatro, formas e representa de 15% a 30% do clínquer. Pastas com  $C_2S$  endurecem lentamente nos primeiros 28 dias oferecendo, mesmo no final deste período, pouca resistência. Entretanto, depois deste período, a resistência aumenta rapidamente e em 1 ano alcança a resistência do  $C_3S$ . Este fato se deve à estrutura muito mais compacta do  $C_2S$  comparada à do  $C_3S$  (TIBONI, 2007).

O aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) constitui aproximadamente 5 a 10% do clínquer do cimento Portland. O  $C_3A$  possui pega quase que instantânea, tendo também ocorrência rápida de reação com grande produção de calor. Para resistência mecânica, o  $C_3A$  não é muito importante e não apresenta resistência à ação de águas agressivas.

O ferroaluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ), apresenta pega em poucos minutos, mas não instantânea, apresenta baixa resistência mecânica sendo inferior a do  $C_3A$ . Possui boa resistência ao ataque de sulfetos (SOUZA, 2008).

Para que o cimento Portland seja utilizado de forma adequada com suas propriedades inalteradas se faz necessário o uso de um armazenamento adequado. Devem ser evitadas as correntes de ar, pois o anidrido carbônico do ar e a umidade fazem com que ocorra a hidratação e carbonatação da cal livre.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2003) o armazenamento do cimento deve ser efetuado em local protegido de intempéries, da umidade e de outros agentes nocivos a sua qualidade.

O armazenamento se faz necessário devido não poder ter desperdícios deste produto, pois nas argamassas o cimento Portland é o material de maior custo, sendo sua proporção necessária para que se possa obter, economicamente, uma argamassa com características e durabilidade satisfatórias para um determinado fim.

As argamassas mais ricas em cimento Portland tendem a apresentar maiores resistências mecânicas e impermeabilidade, porém isso pode ocasionar o aumento da ocorrência de formação de fissuras devido à hidratação do cimento provocar o enrijecimento e alterações na consistência inicial pela perda de parte da água de amassamento (MÜLLER, 1993 apud ROCHA, 2005).

As argamassas empregadas na construção civil não exigem resistências tão elevadas, pois de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 1995) os valores variam de 0,1 MPa a 8,0 MPa, sendo possível obter esses valores com o uso de materiais alternativos que não prejudiquem as propriedades mecânicas estabelecidas pelas normas e que tampouco ocasionem patologias a estas argamassas.

### **2.3.1.2 Cal Hidratada**

A NBR 7175 (ABNT, 1992) define a cal hidratada como sendo um pó seco proveniente da hidratação da cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ou de uma mistura de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e hidróxido de magnésio ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ), ou também, de uma mistura de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  e óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ), sendo designada de acordo com os teores de óxido não hidratados e de carbonatos.

A cal é usada com o propósito de unir e revestir as alvenarias, devido à plasticidade e durabilidade que acrescenta às argamassas. Deve-se ter bastante cautela ao se comprar e até mesmo no preparo, para que sejam evitados problemas como rachaduras e desprendimento.

A cal hidratada possui várias propriedades que favorecem a sua utilização como, por exemplo, a trabalhabilidade, boa aderência, rendimento,

retenção de água, durabilidade, agir como bactericida, entre outros. Tem-se com o uso da cal uma melhor trabalhabilidade, boa aderência e maior rendimento na mão-de-obra.

Além destas características a cal hidratada tem enorme capacidade de retenção de água em torno de suas partículas, favorecendo desta maneira a reação desta com o cimento Portland. Por ser um produto alcalino, a cal hidratada impede a oxidação das ferragens e, também por essa característica, atua como bactericida e fungicida. Além disso, evita que se formem manchas e apodrecimento precoce dos revestimentos.

Argamassas que possuem cal hidratada como constituinte têm boa resistência à compressão, tanto para assentamentos como para revestimentos, apresentam também baixo módulo de elasticidade, ou seja, absorvem melhor as pequenas movimentações das construções, evitando trincas, fissuras e até o descolamento dos revestimentos.

A cal é obtida através de um processamento de rochas. Para rochas carbonatadas de calcário (variedade de rocha onde o constituinte principal é o carbonato de cálcio), o agregado obtido é submetido à ação do calor (processo denominado calcinação) em fornos apropriados, com temperatura entre 850 °C e 1200 °C. Nesta reação química, o carbonato de cálcio, sob a ação do calor, se decompõe, formando o óxido de cálcio (cal) e o dióxido de carbono, sendo que este gás se desprende resultando basicamente a cal. A reação ocorrida esta representada na Equação (2.1) a seguir:



Esta reação produz a cal denominada de “cal virgem” ou “cal aérea”. Nesta fase a cal ainda não pode ser utilizada, pois se faz necessário a moagem deste material, e logo após pode ser misturada com água em proporções adequadas. O resultado deste processo é o hidróxido de cálcio (cal hidratada), que pode ser representado na Equação (2.2).





Quando a cal hidratada é utilizada no preparo de uma argamassa e posteriormente aplicada, ocorre a seguinte reação: a água excedente evapora e o dióxido de carbono presente na atmosfera penetra no revestimento, resultando na formação da "rocha carbonatada". A Figura 2.2 ilustra este fenômeno.

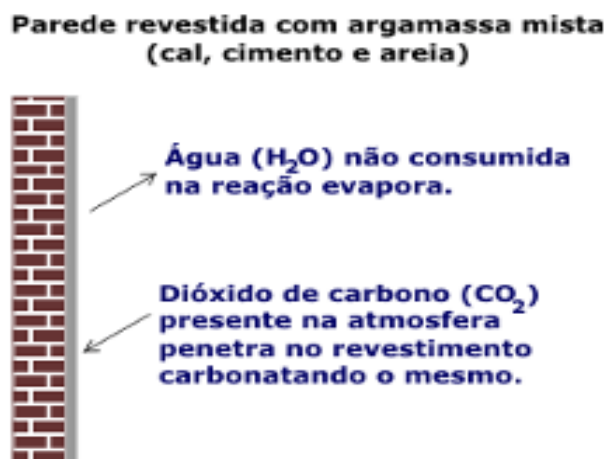


Figura 2.2 – Ilustração da reação da cal hidratada quando utilizada em argamassa

Fonte: PEZENTE, (2009)

Para cal hidratada derivada de rochas carbonatadas o processo químico que ocorre pode ser representado pela Equação (2.3).



De acordo com o processo ilustrado, percebe-se que a cal hidratada retorna à sua condição inicial que era a de rocha calcária, tendo como resultado final uma argamassa estável e resistente.

O processo do endurecimento acontece de forma lenta e propaga de fora para dentro e devido a isso exige que a superfície tenha certa porosidade para permitir a evaporação da água excedente, e ao mesmo tempo permitir penetração do dióxido de carbono presente na atmosfera. Devido o endurecimento ser lento é adicionado à mistura o cimento Portland, que promove a aderência e resistência inicial do revestimento.

### 2.3.1.3 Areia

A areia é um agregado miúdo de grãos consistentes e provêm como material de construção, de rios, cavas, britagem, escórias, praias e dunas. Elas podem ser classificadas como natural ou artificial. A natural é originada da desagregação de rochas em consequência da ação de agentes atmosféricos, sendo de areias de rios, de minas e do mar. As naturais são obtidas pela trituração de rochas, sendo consideradas areias puras e devido a isso possui um custo mais elevado.

A principal aplicação da areia é na fabricação de concretos e argamassas onde, em conjunto com um aglomerante (pasta de cimento Portland/água), constituem uma rocha artificial, com diversas utilidades em engenharia de construção.

De acordo com a NBR 7200 (ABNT, 1982), as areias utilizadas nas argamassas devem ser constituídas de grãos mistos de composição identificável em ensaios de laboratório. As areias, além de possibilitarem a fabricação de argamassas de natureza mais econômica do ponto de vista financeiro, tendo como base que o custo unitário da areia é inferior quando comparado ao do cimento, podem também favorecer outras propriedades tais como: redução da retração da pasta de cimento, aumento da resistência ao desgaste, melhor trabalhabilidade e aumento da resistência ao fogo.

A areia é extraída em unidades de mineração chamadas de areais ou portos de areia, podendo ser extraída do leito de rios, depósitos lacustres, veios de areia subterrâneos (minas) ou de dunas. O sistema de mineração da areia pode ser observado na Figura 2.3.

As areias naturais quartzosas são as mais utilizadas na fabricação de argamassas, sendo em especial a areia lavada proveniente de areais (portos de areias), e a pedra britada proveniente de pedreiras. Este material tem a denominação de agregado miúdo (areia natural ou resultante de britamento de rochas estáveis) devido seus grãos passarem na peneira de malha 4,8 mm e ficarem retidos na de 0,075 mm. As areias podem ser classificadas de acordo com sua dimensão como pode ser observado na Tabela 2.4, de acordo com as prescrições da NBR 7211 (ABNT, 1982) e na Figura 2.4 exemplos de areias de granulometria grossa e média.



Figura 2.3 – Mineração de areia

A NBR 7200 (ABNT, 1982) prescreve que o teor de materiais finos de natureza argilosa não deve ultrapassar 5% em massa nas areias para argamassas. Podendo desta forma, ser nocivos quando envolvem grãos de agregado, aderindo a eles ou até mesmo quando se apresentam em forma de aglomerante.

A quantidade de água utilizada em uma mistura e a acomodação das partículas (empacotamento) são influenciadas diretamente pelas características do agregado miúdo utilizado. A finura do material é diretamente proporcional a quantidade de água utilizada, ou seja, quanto mais fino o agregado miúdo maior deve ser a quantidade de água necessária para obter a trabalhabilidade adequada.

Tabela 2.4 – Classificação do agregado miúdo quanto à dimensão

Tipo de areia	Tamanho nominal (mm)		Módulo de finura (MF)
	Mínima	Máxima	
Muito fina	0,15	0,60	MF < 2,0
Fina	0,60	1,20	2,0 < MF < 2,4
Média	1,20	2,40	2,4 < MF < 3,2
Grossa	2,40	4,80	MF > 3,2



Figura 2.4 – Agregado miúdo

A forma das partículas do agregado miúdo tem influencia quanto à questão do empacotamento, pois o teor de vazios diminui com o aumento do teor de material arredondado.

A forma dos agregados é determinada através do número de angulosidade (NA), verificado na Equação 2.4. O NA é definido subtraindo-se de 67 a porcentagem de volume de sólidos em um recipiente preenchido com agregados segundo um procedimento estabelecido (TIBONI, 2007). O número 67 representa a porcentagem de volume sólido do agregado mais arredondado. Quanto maior o número, mais anguloso o agregado. O número de angulosidade geralmente está entre 0 e 11.

$$NA(\%) = 67 - \left( \frac{m}{\rho_{areia} \cdot V_R} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação (2.4)}$$

Onde:

m = massa contida no recipiente (g)

$\rho_{\text{areia}}$  = massa específica da areia ( $\text{g/cm}^3$ )

$V_R$  = volume do recipiente

### 2.3.2 Propriedades das argamassas

As argamassas possuem suas propriedades de acordo com o estado em que se apresenta, seja ele fresco ou endurecido.

#### 2.3.2.1 Propriedades das argamassas no estado fresco

##### 2.3.2.1.1 Consistência

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

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

Para a avaliação da consistência da argamassa é utilizada no Brasil a mesa de consistência (*flow table*) prescrita pela NBR 7215 (ABNT, 1996) e são realizados procedimentos de ensaio para determinação do índice de consistência prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 1995). Entretanto, apesar da grande utilização, este é um dos ensaios mais criticados, pois vários são os autores que comentam que a mesa não tem sensibilidade para medir a reologia da argamassa (GOMES et al., 1995; YOSHIDA & BARROS, 1995; CAVANI et al., 1997; PILLEGI, 2001; JOHN, 2003; NAKAKURA, 2003; BAUER et al., 2005; ANTUNES, 2005 apud SILVA, 2006).

##### 2.3.2.1.2 Trabalhabilidade

É a propriedade das argamassas que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea. Também pode ser considerada como a conjunção de outras propriedades, como: consistência, plasticidade,

exudação de água, coesão interna, tixotropia, adesão, densidade de massa e retenção de água (RILEM, 1982 apud ROCHA, 2005).

Avaliar, quantificar e prescrever valores de trabalhabilidade das argamassas por meio de ensaios é uma tarefa muito difícil, uma vez que ela depende não só das características intrínsecas da argamassa, mas também da habilidade do pedreiro que está executando o serviço e de várias propriedades do substrato, além da técnica de aplicação (CASCUDO et al., 2005 apud SILVA, 2006).

#### **2.3.2.1.3 Plasticidade**

É a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada de tensões de deformação. Esta propriedade é influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas (RILEM, 1982 apud ROCHA, 2005).

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

#### **2.3.2.1.4 Retenção de água**

É a propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação ou pela absorção de água da base.

Esta propriedade interfere não só no trabalho de acabamento do revestimento, mas também em suas propriedades no estado endurecido (SELMO, 1989 apud ROCHA, 2005).

#### **2.3.2.1.5 Densidade de massa e teor de ar incorporado**

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

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

#### **2.3.2.1.6 Adesão**

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

A adesão inicial ou a aderência da argamassa no estado fresco ao substrato a revestir deve-se, em princípio, às características reológicas da pasta aglomerante; a baixa tensão superficial da pasta, sendo função inversa do consumo de aglomerantes, é o que propicia a sua adesão física ao substrato, assim como aos próprios grãos do agregado miúdo (SELMO, 1989 apud SILVA, 2006).

#### **2.3.2.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido**

##### **2.3.2.2.1 Resistência mecânica**

É definida como a capacidade das argamassas resistirem às tensões de compressão, tração ou cisalhamento. Esta propriedade das argamassas está diretamente ligada à natureza e dosagem dos materiais e também da relação água/aglomerante (ROCHA, 2005).

De acordo com CARASEK (2007) apud SANTOS (2008) a resistência mecânica diz respeito à propriedade dos revestimentos de possuírem um estado de consolidação interna capaz de suportar esforços mecânicos das mais diversas origens e que se traduzem, em geral, por tensões simultâneas de tração, compressão e cisalhamento.

A NBR 13281 (ABNT, 1995) prescreve que os requisitos mecânicos e reológicos das argamassas devem estar em conformidade com as exigências indicadas na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Exigências mecânicas e reológicas para argamassas de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 1995)

Características	Identificação	Limites	Método
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	I	$\geq 0,1$ e $< 4,0$	NBR 13279 (ABNT, 2004)
	II	$\geq 4,1$ e $\leq 8,0$	
	III	$> 8,0$	
Capacidade de retenção de água (%)	Normal	$\geq 80$ e $\leq 90$	NBR 13277 (ABNT, 1995)
	Alta	$> 90$	
Teor de ar incorporado (%)	A	$< 8$	NBR 13278 (ABNT, 1995)
	B	$\geq 8$ e $\leq 18$	
	C	$> 18$	

Fonte: SANTOS, (2008)

### 2.3.2.2 Retração

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

A retração se inicia no estado fresco e se prolonga após o endurecimento do material. Quando a secagem é lenta, a argamassa tem tempo suficiente para adquirir resistência à tração necessária para suportar as tensões internas que ocorrem. Mas, quando o clima é quente, seco e com ventos, ocorre o aceleração da perda de água e surgimento de fissuras.

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



### **2.3.2.2.3 Aderência**

Corresponde à propriedade que permite a argamassa absorver tensões tangenciais (cisalhamento) ou normais (tração) na superfície da interface com a base sem romper-se (ROCHA, 2005).

Segundo SABATTINI (1984) se houver um aumento do teor relativo de cimento no aglomerante pode-se aumentar ou diminuir a capacidade de aderência, dependendo das características do substrato.

A aderência à alvenaria é dividida em dois tipos descritos a seguir (CARVALHO JR et al., 2005 apud SILVA, 2006):

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

Alguns fatores como processo de execução do revestimento, condições climáticas e os materiais utilizados, correspondem a uma variabilidade de até 33% nos resultados do ensaio de aderência. Os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração devem ser analisados em relação ao tipo de ruptura ocorrido, pois tanto o fato de romper na interface argamassa/substrato (aderência pura) quanto no interior dos materiais (falha de estruturação interna) representam fraturas no sistema de revestimento (GONÇALVES, 2004 apud SILVA, 2006).

### **2.3.2.2.4 Permeabilidade**

De acordo com ROCHA (2005), permeabilidade da argamassa corresponde à propriedade que identifica a possibilidade da passagem de água através do material, componente ou elemento de construção. É influenciada principalmente pelos seguintes fatores: proporção e natureza dos materiais constituintes, pela técnica de execução, pela espessura da camada, pela natureza da base e por fissuras existentes (KAZMIERCZAK, 2004).

### **2.1.2.2.5 Módulo de elasticidade**

Elasticidade é a capacidade que a argamassa no estado endurecido apresenta em se deformar sem apresentar ruptura quando sujeita a solicitações diversas, e de retornar à dimensão original inicial quando cessam estas solicitações (SABBATINI, 1984 apud SILVA, 2006).

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

### **2.3.3 Tipos de argamassa**

As argamassas são classificadas de acordo com sua finalidade em: argamassas para assentamento e argamassas para revestimento.

#### **2.3.3.1 Argamassa para assentamento**

As argamassas de assentamento são utilizadas para construção de paredes e muros de tijolos ou blocos, além de servirem também para colocação de cerâmicas, azulejos, ladrilhos, etc.

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

Estas argamassas possuem as seguintes funções:

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

Na Figura 2.5 pode-se observar a utilização desta argamassa no processo de execução de uma parede de alvenaria.



Figura 2.5 – Utilização de argamassa de assentamento na confecção de parede de alvenaria

Fonte: <<http://www.br.ambientar.com.ar>> e <[www.cimpor-portugal.pt](http://www.cimpor-portugal.pt)>

### 2.3.3.2 Argamassa para revestimento

As argamassas de revestimento são utilizadas para revestir paredes, tetos e muros, os quais posteriormente recebem acabamento como revestimentos cerâmicos, pinturas e etc.

As argamassas para revestimento apresentam as seguintes funções:

- Proteger os elementos de vedação e a estrutura da edificação contra a ação direta dos agentes agressivos e, por conseqüência, evitar sua degradação precoce, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios.
- Auxiliar as vedações nas seguintes funções: isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e gases e segurança ao fogo.
- Regularizar a superfície dos elementos de vedação, servindo de base regular para outro revestimento ou constituir-se no acabamento final.
- Colaborar para a estética de vedações e fachadas.

A função do revestimento não é corrigir falhas ou imperfeições grosseiras, como por exemplo, o desaprumo e desalinho provenientes da ausência de cuidado na execução de estruturas ou paredes. É seriamente prejudicial ao revestimento encobrir tais falhas com a massa.

O revestimento pode ser classificado como:

### **Chapisco**

É a camada de preparação da base, de espessura irregular e tem como finalidade uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento. Este tipo de revestimento pode ser utilizado ou não dependendo da natureza da base. Fatores que interligam diretamente a utilização deste revestimento são:

- Limitações na capacidade de aderência da base: quando a superfície é muito lisa ou com porosidade inadequada.
- Revestimento diretamente sujeito a ações de maior intensidade: os revestimentos externos em geral e revestimentos de teto.

### **Emboço**

O emboço, ou massa grossa, é a camada que tem como principal função a regularização da superfície da alvenaria, tendo espessura média entre 15 mm e 25 mm. Este revestimento é aplicado diretamente sobre a base previamente preparada (com ou sem chapisco) e posteriormente recebe as camadas do revestimento (reboco, cerâmica, ou outro tipo de revestimento), devendo desta maneira apresentar porosidade e textura superficiais que permitam boa aderência do acabamento final. A porosidade e a textura superficial são determinadas pela granulometria dos materiais e pela técnica de execução.

### **Reboco**

O reboco, ou massa fina, é a camada de argamassa que serve de acabamento. É aplicada sobre o emboço, e sua espessura é apenas o suficiente para constituir uma película contínua sobre o emboço, com no máximo 5 mm de espessura.

Este é responsável pela textura superficial final, sendo a pintura, em geral, aplicada diretamente sobre o mesmo. Para este revestimento deve-se utilizar uma argamassa que tenha capacidade de suportar deformações, pois neste não deve ter nenhuma fissura, principalmente quando se trata de aplicações externas.

O reboco quando exposto à intempéries, pode necessitar de cuidados especiais, como por exemplo, o uso de impermeabilizantes.

### **Massa única**

Massa única ou também conhecida como emboço paulista é o revestimento que permite pintura executada em uma única camada. Esta argamassa tem que resultar em um revestimento que apresente funções tanto de emboço quanto de reboco, ou seja, regularização da base e acabamento respectivamente.

# CAPÍTULO 3

## Materiais e Métodos



### **3. Materiais e métodos**

#### **3.1 Materiais**

##### **3.1.1 Cimento**

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado o cimento Portland CPIIF-32 da marca CIMPOR Brasil. Este cimento foi utilizado por não conter pozolana em sua constituição, pois a cinza da casca do arroz será utilizada com esta função. O cimento foi adquirido no mercado varejista em sacos de 50 kg e posteriormente acondicionado em sacos plásticos para evitar ocorrência de hidratação.

##### **3.1.2 Cal**

A cal utilizada foi a comercialmente conhecida como “**MegaÓ**”, adquirida no mercado em sacos plásticos de 10 kg. A cal foi retirada da embalagem comercial e acondicionada em sacos plásticos devidamente lacrados de forma a não modificar as propriedades originais.

##### **3.1.3 Cinza da casca do arroz (CCA)**

A cinza utilizada nesta pesquisa foi proveniente da cidade de Caicó – RN, com queima realizada a céu aberto. A cinza foi passada em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm) e armazenado em sacos plásticos.

##### **3.1.4 Agregado miúdo**

O agregado miúdo utilizado foi areia oriunda do Rio Paraíba. A areia foi seca em estufa a uma temperatura de 110 °C, passada na peneira ABNT nº 4 (4,8 mm), sendo desprezado o material retido, com a finalidade de diminuir a influência da zona de transição entre o agregado e a pasta (SOUZA, 2008).

##### **3.1.5 Água**

Foi utilizada água potável, fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba, para o sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande – PB.

### 3.2 Metodologia da pesquisa

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir da caracterização dos materiais utilizados para posteriormente serem confeccionadas argamassas de assentamento e revestimento.

Foram estudadas as seguintes proporções, ou seja, os traços em massa utilizados foram, 1:2:9 (cimento:cal:areia) e 1:1:6 (cimento:cal:areia) sendo confeccionadas argamassas sem CCA (chamadas de referência) e as argamassas com CCA (chamadas de alternativas) que tiveram percentuais de 6%, 9%, 15%, 20% e 30% como substituto parcial do cimento.

A quantidade de água utilizada na produção das argamassas foi determinada através do índice de consistência utilizando a mesa *flow table* seguindo as prescrições da NBR 13276 (ABNT, 1995). As argamassas foram confeccionadas em moldes cilíndricos com dimensões de 5 x 10 cm (diâmetro x altura). A cura destas argamassas foi realizada em câmara úmida saturada com cal para evitar carbonatação para períodos de 28, 63 e 91 dias.

Por fim avaliou-se a influência da cinza da casca do arroz a partir dos traços utilizados, nas propriedades físicas e mecânicas das argamassas no estado fresco e endurecido.

Na Figura 3.1, estão apresentadas as etapas dos ensaios realizados na pesquisa.



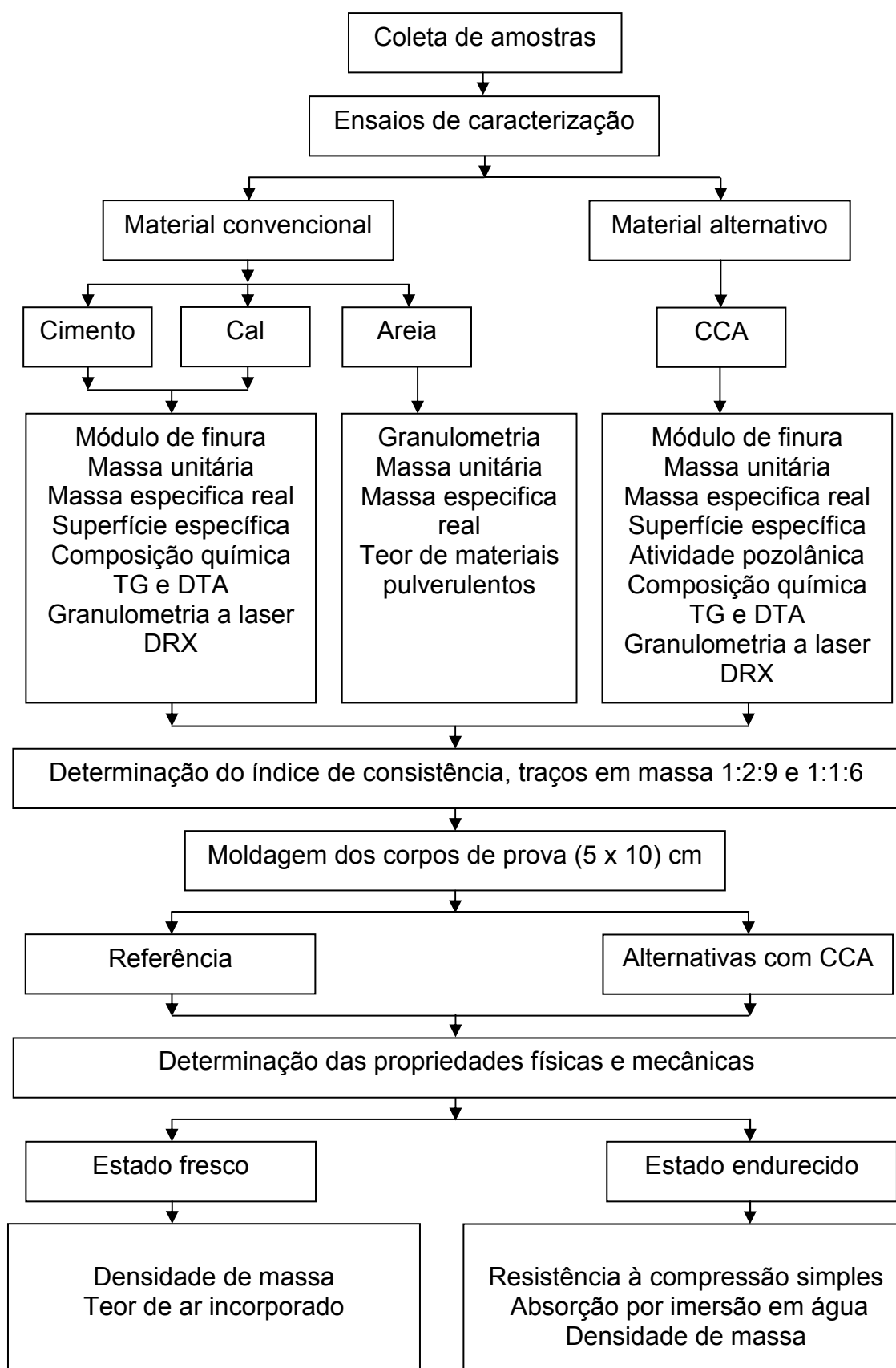


Figura 3.1 – Fluxograma das etapas dos ensaios realizados na pesquisa

### 3.2.1 Preparação da cinza da casca do arroz

A cinza da casca do arroz foi utilizada nesta pesquisa como um material com propriedades aglomerantes. Esta cinza ao chegar ao laboratório passou por uma moagem prévia com duração de 2 horas para que fosse obtido partículas mais finas e em seguida foi passada em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm). A proposta de usar um material alternativo sem tratamento térmico é justificada pelo fato de tentar utilizar um material fácil acesso e que tivesse um menor consumo energético para sua preparação.

### 3.2.2 Caracterização física

Os materiais utilizados passaram por um processo de caracterização inicial. Na Tabela 3.1 estão apresentados todos os ensaios para caracterização física.

Tabela 3.1 – Ensaios realizados para caracterização física dos materiais

Ensaio	Norma da ABNT
Módulo de finura	NBR 11579 (ABNT, 1991)
Massa unitária	NBR 7251 (ABNT, 1982)
Massa específica real	NBR's 6474 (ABNT, 1998) e 9776 (ABNT, 1987)
Granulometria	NBR 7217 (ABNT, 1982)
Teor de materiais pulverulentos	NBR 7219 (ABNT, 1982)
Superfície específica (Blaine)	NBR NM 76 (ABNT, 1998)

### 3.2.3 Caracterização mineralógica

#### 3.2.3.1 Análise térmica

Esta análise foi realizada para os materiais com caráter aglomerante nas argamassas que são cimento, cinza da casca do arroz e cal, objetivando a verificação do comportamento térmico (estabilidade e decomposição), ou seja, as faixas de temperaturas em que ocorrem as transformações endotérmicas e exotérmicas. Os ensaios que determinam tal comportamento são as análises termogravimétricas (TG) e as térmicas diferenciais (DTA), as quais foram determinadas através do aparelho da marca BP Engenharia, modelo 3020

(Figura 3.2), com taxa de aquecimento de 12,5 °C/min. Para execução do ensaio, utilizou-se uma temperatura máxima de 1000 °C e para DTA fez-se a utilização do óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) calcinado, considerado como padrão.



Figura 3.2 – Aparelho utilizado para determinação das análises térmica diferencial e termogravimétrica

### 3.2.3.2 Composição química

Para determinação da composição química realizada nos materiais, cimento, cinza da casca do arroz e a cal, a técnica utilizada foi à espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) (Figura 3.3). Esta técnica baseia-se no princípio de que a absorção de raios-X pelo material provoca a ionização interna dos átomos, gerando uma radiação característica conhecida como “fluorescência”. Nesta análise são obtidos os óxidos presentes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Ti}_2\text{O}$ , entre outros).



Figura 3.3 – Aparelho utilizado para determinação da composição química

As análises foram realizadas no Laboratório de Caracterização, da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande – PB.

### 3.2.3.3 Difração de raios – X

O ensaio de difração de raios – X foi realizado para o cimento, a cinza da casca do arroz e a cal, tendo como objetivo caracterizá-los mineralogicamente. Na execução do ensaio utilizaram-se as amostras passadas em peneira ABNT nº 200, correspondendo ao método conhecido como método do pó. O aparelho utilizado para realização do ensaio, foi o Difratorômetro SHIMADZU XRD-6000 (Figura 3.4) com radiação  $\text{CuK}\alpha$ , tensão de 40kV, corrente de 30 mA, modo fixe time, com passo de 0,02 e tempo de contagem de 0,6 s, com ângulo  $2\theta$  percorrido de  $10^\circ$  a  $60^\circ$ , o mesmo utilizado por SOUZA (2008).



Figura 3.4 – Difratorômetro de raios-X SHIMADZU XRD - 6000

A realização deste ensaio se faz importante devido esta análise ter caráter qualitativo, pois promove a identificação das fases cristalinas presentes nas pastas, sendo realizada por análise dos picos presentes no difratograma e pela comparação com bancos de dados específicos. Com este ensaio é possível determinar quanto uma amostra é amorfa ou cristalina.

### 3.2.3.4 Análise granulométrica por difração a laser

Este ensaio foi realizado para o cimento, a cinza da casca do arroz e a cal. Na execução do ensaio as amostras utilizadas foram passadas em peneira ABNT nº 200 e então dispersas em 250 ml de água destilada no agitador com velocidade de 1700 rpm por 10 min. Após agitação a amostra foi colocada em um equipamento Modelo 1064 da CILAS (Figura 3.5), em modo úmido, até atingir 150 unidades de difração/área de incidência que é considerada a concentração ideal.



Figura 3.5 – Equipamento do ensaio de granulometria por difração a laser – CILAS 1064

Este método consiste na dispersão das partículas do material em fase líquida utilizando um processo de medida óptica. Neste método é feita uma relação entre a difração do laser e a concentração e tamanho das partículas (SOUZA, 2008).

### 3.2.4 Atividade pozolânica

Para determinação da atividade pozolânica da CCA foi realizado o ensaio de acordo com a NBR 5751 (ABNT, 1992), que determina a atividade pozolânica utilizando a cal.

Na execução do ensaio, é determinada a quantidade de água para um índice de consistência de  $225 \pm 5$  mm de acordo com as prescrições estabelecidas pela ABNT. Após a determinação da quantidade de água a ser

utilizada, são moldados três corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 5 cm (diâmetro) x 10 cm (altura).

Depois de 7 dias de cura em câmara úmida, são determinadas as resistências à compressão simples dos corpos-de-prova moldados. A norma NBR 5751 (ABNT, 1992) estabelece que para o material seja considerado pozolânico o valor obtido da resistência a compressão deve ser maior ou igual a 6,0 MPa.

### **3.2.5 Determinação do índice de consistência das argamassas**

A quantidade de água necessária para as argamassas com a utilização de adições minerais, que nesta pesquisa faz uso da cinza da casca do arroz, está diretamente relacionada com o percentual de CCA utilizado e conseqüentemente da superfície específica e formas das partículas (DAL MOLIN et al., 2004 apud SOUZA, 2008).

Para confecção das argamassas determinou-se inicialmente o índice de consistência utilizando os procedimentos prescritos pela NBR 13276 (ABNT, 1995) com a utilização da mesa de consistência, também conhecida como flow table, descrita pela NBR 7215 (ABNT, 1996). Segundo SILVA (2006), o índice de consistência padrão proposto pela norma NBR 13276 (ABNT, 1995) é 255 mm  $\pm$  10 mm, sendo este o valor utilizado.

O ensaio consiste na medida do espalhamento obtido através de uma quantidade de argamassa inicialmente moldada em fôrma tronco-cônico sobre a mesa de consistência (Figura 3.6). A argamassa é moldada em três camadas, sendo a primeira com 15 golpes, a segunda com 10 golpes, a terceira com 5 golpes e por fim é retirado o excesso. Em seguida retira-se o molde tronco-cônico e inicia-se o processo de espalhamento através de 30 golpes em 30s e logo em seguida mede-se os diâmetros ortogonais da argamassa após a deformação, sendo a média dessas medidas o índice de consistência padrão. Na Figura 3.7 podem-se observar todos os procedimentos para determinação do índice de consistência.

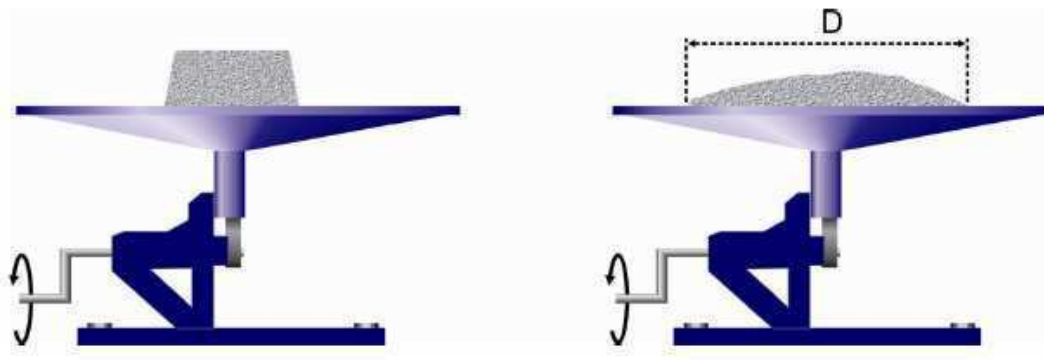


Figura 3.6 – Esquema do ensaio de determinação do índice de consistência, para determinação do espalhamento (“D”) mesa de consistência flow table

Fonte: SILVA (2006)

Com o índice de consistência é possível determinar a relação água/aglomerante e do teor de água de cada tipo de argamassa. O teor de água é determinado segundo a NBR 13276 (1995), pela relação água/materiais secos, multiplicado por 100, expresso em porcentagem.



Figura 3.7 – Procedimentos para determinação do índice de consistência

### 3.2.6 Preparação das argamassas

Nesta pesquisa foram utilizados dois tipos de argamassas, as de assentamento e revestimento, nas proporções 1:2:9 (cimento:CCA:cal:areia) e 1:1:6 (cimento:CCA:cal:areia) em massa, respectivamente. Para os dois tipos têm-se as argamassas de referência que são as sem adição mineral (sem CCA) e as argamassas com cinza da casca do arroz com percentuais de 6%, 9%, 15%, 20% e 30%.

Após determinação das proporções fez-se necessário a transformação das medidas de volume para massa, ou seja, transformar as medidas de m<sup>3</sup> para kg. Esta transformação seguiu os seguintes passos.

Os proporcionamentos dos materiais, em massa, foram definidos de acordo com a massa unitária de cada material utilizado na produção das argamassas. Para as argamassas de referência observa-se através da Equação 3.1, o proporcionamento dos materiais, sendo uma unidade de volume de cimento, “a” unidades de volume da cal e “b” unidades de volume da areia. Para os traços com cinza da casca do arroz têm-se na Equação 3.2, “a” unidades de volume de cimento, “b” unidades de volume da cinza, “c” unidades de volume cal e “d” unidades de volume da areia.

$$1 : a : b \quad \text{(Equação 3.1)}$$

$$a : b : c : d \quad \text{(Equação 3.2)}$$

De acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982) que define massa unitária de um agregado no estado solto com sendo a relação entre a massa do material colocado em um recipiente e o volume deste recipiente. Então para facilitar a transformação do proporcionamento dos materiais de volume para massa, faz-se a multiplicação das unidades de volume de cada material do traço por suas respectivas massas unitárias, este procedimento está apresentado nas Equações 3.3 e 3.4.

$$1 \cdot m_{ucim} : a \cdot m_{ucal} : b \cdot m_{uareia} \quad \text{(Equação 3.3)}$$

$$a \cdot m_{ucim} : b \cdot m_{uCCA} : c \cdot m_{ucal} : d \cdot m_{uareia} \quad \text{(Equação 3.4)}$$



Onde:

$m_{ucim}$ : massa unitária do cimento ( $g/cm^3$ )

$m_{uCCA}$ : massa unitária do cinza da casca do arroz ( $g/cm^3$ )

$m_{ucal}$ : massa unitária da cal ( $g/cm^3$ )

$m_{uareia}$ : massa unitária da areia ( $g/cm^3$ )

Ao transformar cada unidade de volume em unidade de massa que corresponde as Equações 3.3 e 3.4, divide-se estas pela massa unitária do cimento de forma que se obtenha uma unidade de massa de cimento para os traços de referência e para as com CCA o valor correspondente ao percentual de substituição da cinza da casca do arroz, logo a Equação 3.5 e 3.6 demonstra tal procedimento respectivamente.

$$\frac{m_{ucim}}{m_{ucim}} : \frac{m_{ucal}}{m_{ucim}} : \frac{m_{uareia}}{m_{ucim}} \quad (\text{Equação 3.5})$$

$$\frac{m_{ucim}}{m_{ucim}} : \frac{m_{uCCA}}{m_{ucim}} : \frac{m_{ucal}}{m_{ucim}} : \frac{m_{uareia}}{m_{ucim}} \quad (\text{Equação 3.6})$$

Os valores desta transformação podem ser conferidos na Tabela 3.2, onde estão os traços em volume e em massa.

Após transformação dos traços em massa, determinou-se o índice de consistência das argamassas seguindo os critérios estabelecidos pela NBR 13276 (ABNT, 1995) para se obter um espalhamento de  $255 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ , os valores desta propriedade são encontrados posteriormente. E então foram moldados em cada traço um correspondente a 4 corpos de prova para utilização nos ensaios, para os períodos de 28, 63 e 91 dias.

Tabela 3.2 – Valores dos traços em volume e em massa

Traços	Cinza (%)	cimento:CCA:cal:areia (m <sup>3</sup> )	cimento:CCA:cal:areia (kg)
1:2:9 (cimento:%cinza: cal:areia)	0%	1:0:2:9	1,00:0:1,09:12,22
	6%	0,94:0,06:2:9	0,94:0,022:1,09:12,22
	9%	0,91:0,09:2:9	0,91:0,033:1,09:12,22
	15%	0,85:0,15:2:9	0,85:0,055:1,09:12,22
	20%	0,80:0,20:2:9	0,80:0,073:1,09:12,22
	30%	0,70:0,30:2:9	0,70:0,110:1,09:12,22
1:1:6 (cimento:%cinza: cal:areia)	0%	1:0:1:6	1,00:0:0,545:8,14
	6%	0,94:0,06:1:6	0,94:0,022:0,545:8,14
	9%	0,91:0,09:1:6	0,91:0,033:0,545:8,14
	15%	0,85:0,15:1:6	0,85:0,055:0,545:8,14
	20%	0,80:0,20:1:6	0,80:0,073:0,545:8,14
	30%	0,70:0,30:1:6	0,70:0,110:0,545:8,14

### 3.2.7 Moldagem das argamassas

Foram confeccionadas argamassas para os traços 1:2:9 e 1:1:6 de assentamento e revestimento respectivamente, de referência (sem substituição) e alternativas que utiliza a cinza da casca do arroz como substituinte de parte do aglomerante (cimento) nos percentuais de 6%, 9%, 15%, 20% e 30%.

Os materiais foram homogeneizadas em um misturador mecânico com capacidade de 5l seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 7215 (ABNT, 1996) em seguida os corpos de prova foram moldados utilizando moldes cilíndricos com dimensões 5 cm x 10 cm de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). Após desmoldagem os corpos de prova foram identificados e em seguida submetidos a períodos de cura úmida de 28, 63 e 91 dias. A cura úmida foi realizada em um reservatório cheio de água, com 2% de cal utilizada para evitar carbonatação. Os procedimentos seguidos para moldagem das argamassas estão apresentados na Figura 3.8.



Figura 3.8 – Moldagem das argamassas de assentamento e revestimento

### **3.2.8 Propriedades físicas e mecânicas**

#### **3.2.8.1 Densidade de massa no estado fresco**

O ensaio de densidade de massa no estado fresco foi realizado através da confecção de 3 corpos de prova 5 cm x 10 cm, para cada argamassa, conforme procedimentos descritos na NBR 13278 (ABNT, 1995).

#### **3.2.8.2 Teor de ar incorporado**

O ensaio de teor de ar aprisionado foi determinado a partir da massa específica das argamassas, conforme procedimentos da norma NBR 13278 (ABNT, 1995). Foram feitas três determinações para cada traço.

#### **3.2.8.3 Densidade de massa no estado endurecido**

A densidade de massa no estado endurecido foi determinada para 28 dias de cura em 4 corpos de prova 5 cm x 10 cm, para cada argamassa, conforme procedimentos da NBR 13280 (ABNT, 1995). Esta propriedade tem sua importância devido à utilização de materiais com grande superfície específica como é o caso da cinza da casca do arroz.

A densidade de massa no estado endurecido é diretamente proporcional a resistência a compressão simples, ou seja, quanto maior a resistência maior é a densidade do material.

#### **3.2.8.4 Absorção de água por imersão**

Para determinar o teor de absorção de água das argamassas estudadas nesta pesquisa, utilizou-se 4 pedaços correspondentes a cada corpo de prova

ensaiado para a resistência à compressão simples, para os períodos 28, 63 e 91 dias de cura, seguindo todas as prescrições indicadas pela NBR 9778 (ABNT, 1987).

Uma das características desta propriedade é a de ser inversamente proporcional a resistência a compressão simples, ou seja, quanto maior a RCS menor é a absorção.

### 3.2.8.5 Resistência à compressão simples

O ensaio para determinar a resistência à compressão simples foi realizado em corpos de prova com dimensões 5 cm x 10 cm (diâmetro x altura), para os períodos 28, 63 e 91 dias de cura, seguindo todas as prescrições indicadas pela NBR 7215 (ABNT, 1996). Utilizou-se 4 corpos de prova de cada argamassa moldada (traços 1:2:9 e 1:1:6 em massa) e determinou-se o valor médio. A prensa utilizada foi a SHIMADZU AG-IS com célula de 100 KN apresentada na Figura 3.9.

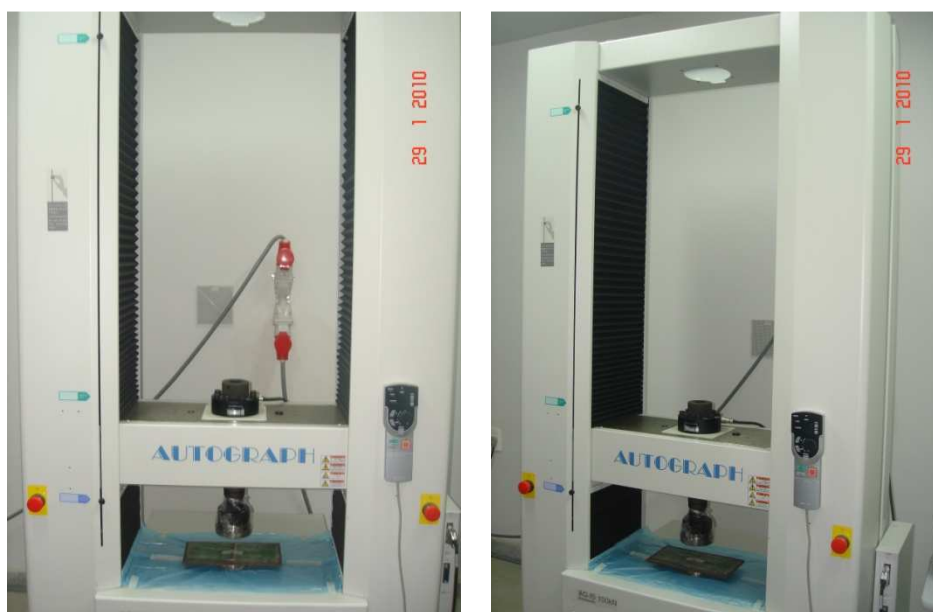


Figura 3.9 – Prensa SHIMADZU AG-IS para ensaios mecânicos

# CAPÍTULO 4

## Resultados e Discussões



## 4. Resultados e discussões

### 4.1 Caracterização física, química e mineralógica

#### Cimento

Na Tabela 4.1 encontram-se os resultados obtidos para as propriedades físicas do cimento Portland CPIIF – 32 utilizado na pesquisa.

Tabela 4.1 – Propriedades físicas do CPIIF – 32

Ensaio	Norma da ABNT	Limites	Resultados Obtidos
Módulo de finura (%)	NBR 11579 (ABNT, 1991)	$\leq 12$	2,78
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 7251 (ABNT, 1982)	-	1,10
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 6474 (ABNT, 1998)	-	2,78
Superfície específica (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM 76 (ABNT, 1998)	$\geq 2600$	5023,28

Analisando os resultados da Tabela 4.1, verifica-se que todos atenderam as exigências estabelecidas pelas normas da ABNT.

O módulo de finura obtido foi de 2,78% estando este valor inferior ao estabelecido pela NBR 11579 (ABNT, 1991) que é igual a 12%.

Quanto à massa unitária utilizada na transformação de traços em volume para traços em massa, o valor obtido foi de 1,10 g/cm<sup>3</sup> e para massa específica real o valor encontrado foi de 2,78 g/cm<sup>3</sup>.

Em relação a superfície específica do cimento o valor encontrado foi de 5023,28 cm<sup>2</sup>/g, o qual é superior ao estabelecido pela NBR NM 76 (ABNT, 1998) que é de 2600 cm<sup>2</sup>/g.

Na Tabela 4.2 estão contidos os resultados da composição química do CPIIF – 32.

Tabela 4.2 – Composição química do cimento Portland CPIIF – 32

Composição química	
Óxido de cálcio (CaO)	64,42%
Dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	15,07%
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	4,91%
Óxido de magnésio (MgO)	4,42%
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4,26%
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,94%
Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1,50%
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	1,15%
Dióxido de titânio (TiO <sub>2</sub> )	0,26%
Óxido de estrôncio (SrO)	0,06%
Óxido de zinco (ZnO)	0,03%
Carbono (C)	0,00%
Perda ao fogo	1,97%

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.2, pode-se observar que o cimento apresenta maiores teores de óxido de cálcio e de dióxido de silício correspondendo a 64,42% e 15,07% respectivamente, estando os demais óxidos com valores abaixo de 5%. De acordo com os resultados da composição química é possível recomendar a utilização deste cimento, por apresentar grande percentual de óxido de cálcio, para produção de argamassas de assentamento e revestimento, concretos simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento, dentre outros (ABCP, 2005 apud POUHEY, 2006).

A Figura 4.1 apresenta o difratograma de raios X do cimento Portland CPIIF-32. Analisando a Figura 4.1 observa-se a presença de vários materiais cristalinos, com picos referentes ao Ca<sub>3</sub>SiO<sub>4</sub>, Ca<sub>3</sub>Fe, Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> e CaCO<sub>3</sub>.

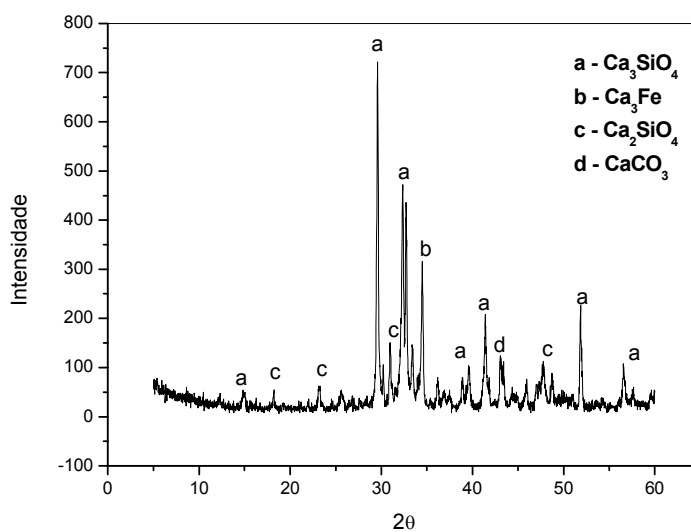


Figura 4.1 – Difratoograma de raios X do cimento Portland CPIIF-32

A Figura 4.2 apresenta as curvas das análises termogravimétrica e térmica diferencial do cimento Portland CPIIF-32.

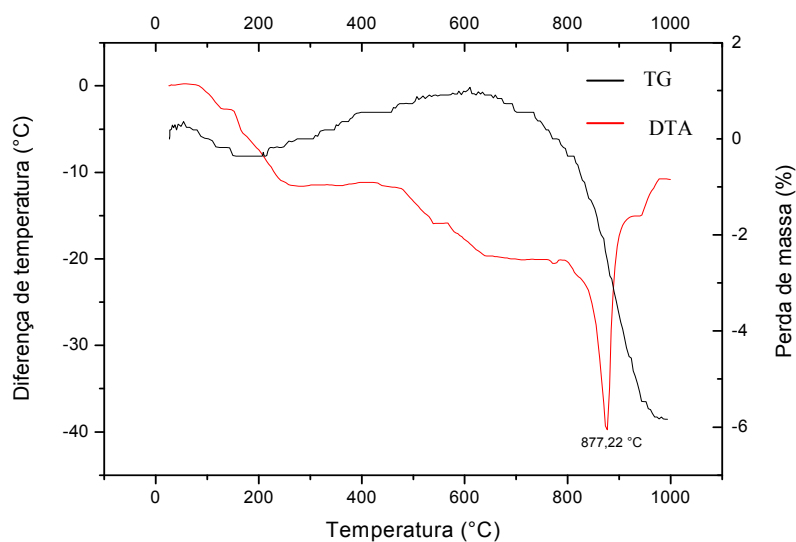


Figura 4.2 – Curva das análises termogravimétrica e térmica diferencial do cimento Portland CPIIF-32

Analisando a Figura 4.2 observa-se que a curva da análise térmica diferencial apresentou apenas um pico endotérmico de grande intensidade a uma temperatura de 877,22 °C, estando provavelmente relacionado à



desidroxilação do silicato de cálcio hidratado, isto é, a perda de água estrutural. SOUZA (2008) observou comportamento semelhante ao da curva da análise térmica diferencial para o cimento empregado em sua pesquisa. Na curva da análise termogravimétrica percebe-se que houve perda de massa por volta dos 200 °C correspondendo possivelmente à perda de água livre e uma perda de massa de 5,83% correspondendo à perda de massa do silicato de cálcio.

A Figura 4.3 apresenta a curva granulométrica por difração a laser do cimento Portland CPIIF-32.

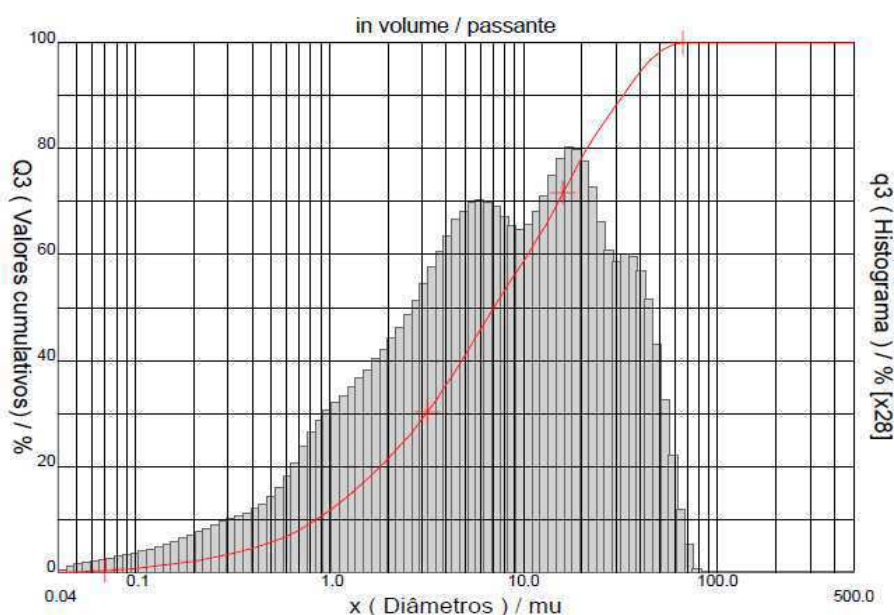


Figura 4.3 – Distribuição granulométrica por difração a laser do cimento Portland CPIIF-32

Analisando a Figura 4.3 observa-se que a curva apresentou comportamento modal com diâmetro médio de 12,24  $\mu\text{m}$ , com  $D_{10}$  de 0,85  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 7,02  $\mu\text{m}$  e  $D_{90}$  de 32,49  $\mu\text{m}$ . A fração de 2  $\mu\text{m}$  corresponde a 21,48% indicando um elevado teor de aglomerantes, confirmando suas características aglomerantes. SOUZA (2008) encontrou curva de distribuição granulométrica com comportamento similar ao estudado nesta pesquisa.

### **Cal**

Na Tabela 4.3 estão apresentados os resultados das propriedades físicas da cal.

Tabela 4.3 – Propriedades físicas da cal

Ensaio	Norma da ABNT	Limites	Resultados Obtidos
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 7251 (ABNT, 1982)	-	0,60
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 6474 (ABNT, 1998)	-	2,24
Superfície específica (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM 76 (ABNT, 1998)	≥ 2600	6558,21

Analisando os resultados apresentados na Tabela 4.3, verifica-se que os valores estão de acordo com os valores especificados pelas normas da ABNT.

O valor obtido para massa unitária foi de 0,6 g/cm<sup>3</sup>. Com relação à massa específica real o valor obtido foi de 2,24 g/cm<sup>3</sup>.

O valor da superfície específica foi de 6558,21 cm<sup>2</sup>/g sendo este valor superior ao valor estabelecido pela NBR NM 76 (ABNT, 1998) que é de 2600 cm<sup>2</sup>/g.

Na Tabela 4.4 estão apresentados os valores da composição química da cal. Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.4, verifica-se que a cal possui um elevado teor de óxido de cálcio (CaO) e baixo teor de óxido de magnésio, sendo os valores de 49,35% e 26,45% respectivamente. Quanto aos demais componentes encontrados na composição química da cal, como principais impurezas, apresentam valores inferiores a 2%. De acordo com esta composição a cal pode ser considerada como sendo dolomítica por apresentar como principais compostos o óxido de cálcio e o óxido de magnésio. Esta composição favorece a utilização desta cal para produção de argamassas de assentamento e revestimento (SILVA, 2006).

Tabela 4.4 – Composição química da cal

Composição química	
Óxido de cálcio (CaO)	49,35%
Óxido de magnésio (MgO)	26,45%
Dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	1,88%
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,26%
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,22%
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	0,06%
Óxido de estrôncio (SrO)	0,04%
Óxido de cobre (CuO)	0,01%
Carbono (C)	0,00%
Perda ao fogo	21,74%

A Figura 4.4 apresenta o difratograma de raios X da cal.

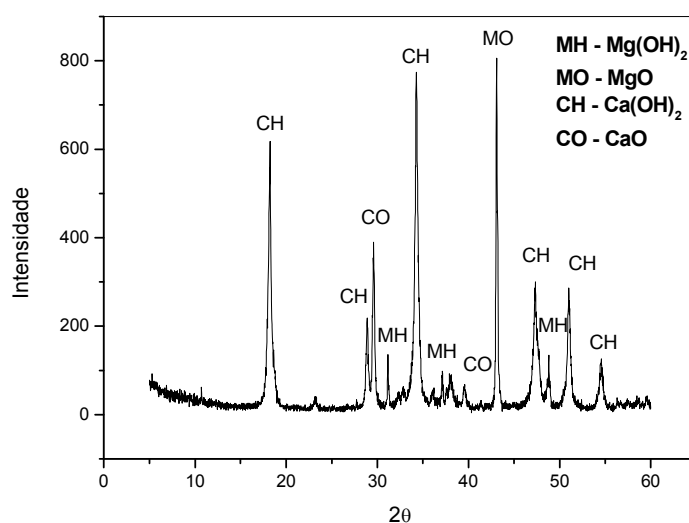


Figura 4.4 – Difratograma de raios X da cal

Analisando a Figura 4.4 observa-se que a cal é constituída basicamente de portlandita, brucita e os óxidos de cálcio e magnésio, com a presença de picos referentes a MgO, CaO, Ca(OH)<sub>2</sub> e Mg(OH)<sub>2</sub>.

A Figura 4.5 apresenta as curvas das análises termogravimétrica e térmica diferencial da cal.

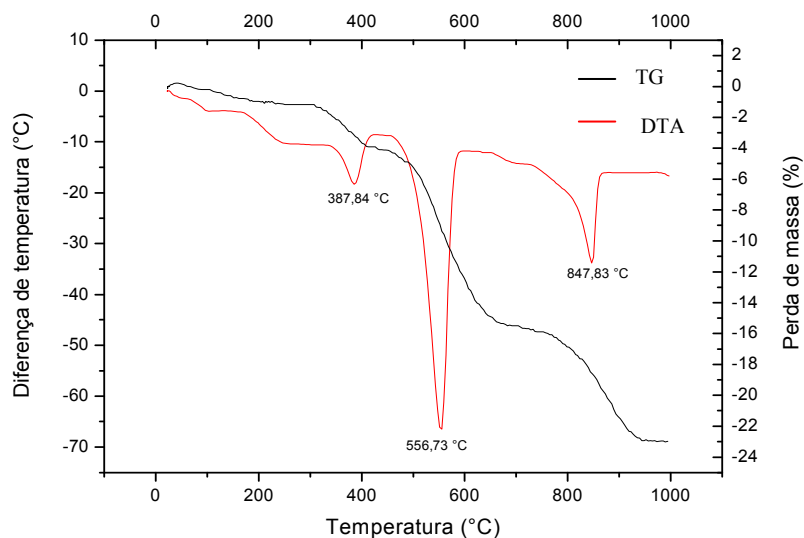


Figura 4.5 – Curvas das análises termogravimétrica e térmica diferencial da cal

Analisando as curvas da Figura 4.5, verifica-se que a amostra apresenta picos endotérmicos de pequena intensidade a 387,84 °C correspondente a desidroxilação da brucita ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ), de grande intensidade a 556,73 °C correspondente a desidroxilação da portlandita ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) e a 847,83 °C considerado de média intensidade correspondente a decomposição do carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$  ou calcita como é conhecido). Para análise termogravimétrica tem-se uma perda de massa de 23% correspondendo as perdas de massa de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  e  $\text{CaCO}_3$ .

A Figura 4.6 apresenta a curva granulométrica por difração a laser da cal. De acordo com o comportamento obtido para distribuição granulométrica da cal, observa-se, pela Figura 4.6, que a curva apresentou comportamento modal com diâmetro médio de 9,87  $\mu\text{m}$ , com  $D_{10}$  de 0,47  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 4,28  $\mu\text{m}$  e  $D_{90}$  de 30,84  $\mu\text{m}$ . Para esta cal não existe partículas superiores a 100  $\mu\text{m}$ . Analisando os valores obtidos verifica-se que a cal possui teor elevado de finos, apresentando para o diâmetro de 5  $\mu\text{m}$  um percentual de 54,30%.

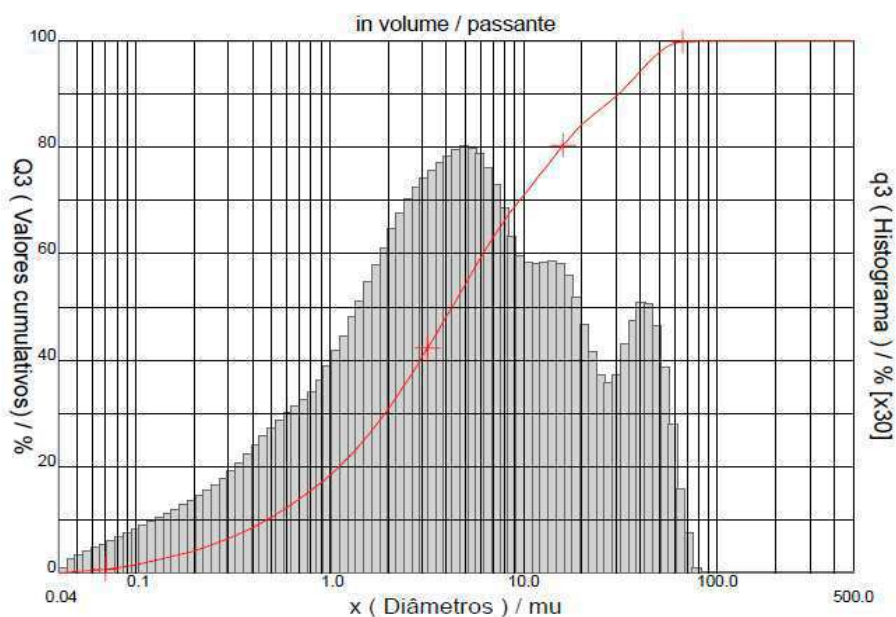


Figura 4.6 – Distribuição granulométrica por difração a laser da cal

### Areia

Na Tabela 4.5 estão apresentados os resultados obtidos para caracterização do agregado miúdo, seguindo as prescrições estabelecidas pelas normas da ABNT.

Tabela 4.5 – Propriedades do agregado miúdo (areia)

Ensaio		Norma da ABNT	Resultados Obtidos
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )		NBR 7251 (ABNT, 1982)	1,49
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )		NBR 9776 (ABNT, 1987)	2,63
Teor de materiais pulverulentos (%)		NBR 7219 (ABNT, 1982)	1,04
Granulometria	Diâmetro máximo (mm)	NBR 7217 (ABNT, 1982)	4,80
	Módulo de finura (%)		2,45

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.5, para massa unitária verifica-se que o valor encontrado foi de 1,49 g/cm<sup>3</sup> é similar ao valor encontrado por SOUZA (2008).

O resultado obtido para massa específica real foi de  $2,63 \text{ g/cm}^3$ , PETRUCCI (1998) apud SOUZA (2008) diz que a massa específica real é de aproximadamente  $2,60 \text{ g/cm}^3$  estando esse valor dentro dos limites sugeridos por PETRUCCI (1998).

Para o módulo de finura o valor encontrado foi de 2,4% sendo classificado como areia de granulometria média, pois este valor encontra-se dentro do intervalo de  $2,4 < MF < 3,2$  de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 1982). O diâmetro máximo obtido para este agregado é de 4,8 mm. De acordo com os valores obtidos esta areia é considerada bem graduada, favorecendo positivamente sua utilização em argamassas por promover uma melhor trabalhabilidade e uma pequena quantidade de vazios entre os grãos.

O teor de materiais pulverulentos encontrados nesta pesquisa foi de 1,04%, sendo inferior aos dados da literatura (3,0% a 5,0%), podendo-se dizer que esta areia apresenta poucos finos, não prejudicando desta forma na quantidade de água a ser utilizada para obtenção da consistência adequada, pois o aumento da quantidade de água intensificaria a retração e diminuiria a resistência de argamassas e concretos.

Na Figura 4.7 está apresentada a curva granulométrica da areia.

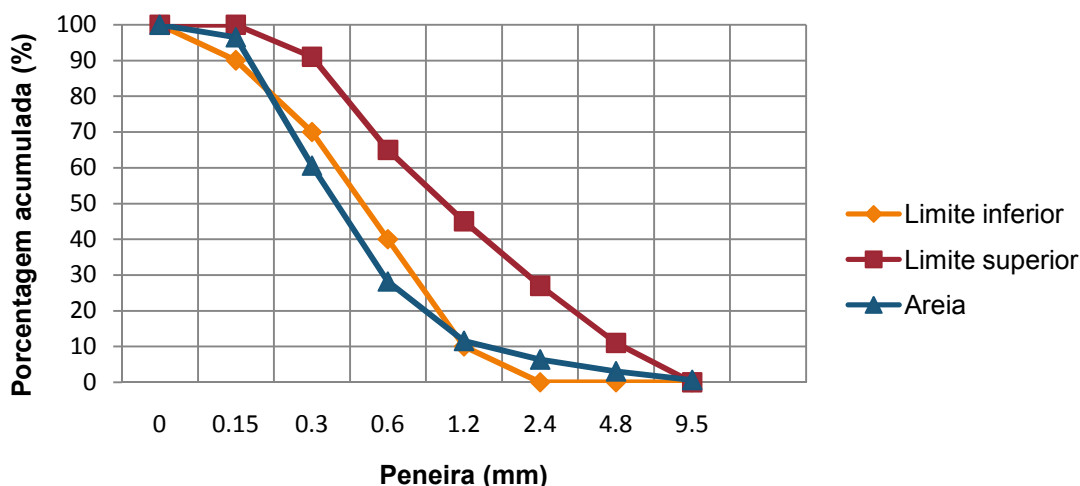


Figura 4.7 – Curva granulométrica da areia (Zona 3)

Analisando a Figura 4.7 verifica-se que a curva granulométrica da areia está dentro dos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 1982), sendo classificada como tipo média e zona 3. Através do comportamento da curva

granulométrica observa-se que pela distribuição dos grãos esta areia pode ser utilizada na confecção de argamassas, pois apresenta grãos mistos e bem graduados.

Através da fórmula utilizada para determinar o número de angulosidade (NA), o resultado obtido para o agregado miúdo utilizado foi de 10, significando que o número de vazios da areia utilizada corresponde a 10% de um agregado esférico. De acordo com o valor obtido pode-se dizer que o agregado utilizado possui grande quantidade de grãos de forma angulosa, podendo ser verificado através do intervalo imposto que é de 0 a 11, não sendo desta forma necessária a composição com outro tipo de agregado miúdo, favorecendo positivamente a trabalhabilidade da mistura.

### **Cinza da casca do arroz**

Na Tabela 4.6 estão contidos os resultados obtidos para as propriedades físicas da cinza da casca do arroz, seguindo as prescrições estabelecidas pelas normas da ABNT e verifica-se que estes resultados são compatíveis com os limites estabelecidos.

Tabela 4.6 – Propriedades físicas da CCA

<b>Ensaio</b>	<b>Norma da ABNT</b>	<b>Limites</b>	<b>Resultados Obtidos</b>
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 7251 (ABNT, 1982)	-	0,40
Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )	NBR 6474 (ABNT, 1998)	-	1,81
Superfície específica (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	NBR NM 76 (ABNT, 1998)	≥ 2600	10197,38

De acordo com os resultados obtidos na Tabela 4.6, verifica-se que a cinza da casca do arroz apresenta baixo valor para massa unitária de 0,40 g/cm<sup>3</sup> sendo equivalente ao valor obtido por MATTOS et al., (2002) e inferior ao obtido por SOUZA (2008) (0,46 g/cm<sup>3</sup>), indicando que a CCA possui baixa densidade e por provavelmente ser um material poroso.

Para massa específica real o valor encontrado foi  $1,81 \text{ g/cm}^3$ , sendo semelhante ao obtido por AGOPYAN (1991) apud POUHEY (2006) que foi de  $1,88 \text{ g/cm}^3$ .

Em relação à superfície específica determinada pelo método de Blaine, o valor obtido para CCA foi de  $10197,38 \text{ cm}^2/\text{g}$ , maior que o valor obtido para o cimento que foi de  $5023,28 \text{ cm}^2/\text{g}$ , estando este valor superior ao estabelecido pela NBR NM 76 (ABNT, 1998) que corresponde a  $2600 \text{ cm}^2/\text{g}$ .

O fato da CCA possuir superfície específica maior que a do cimento justifica sua utilização como substituto deste material, e como consequência desta substituição é possível produzir argamassas mais resistente e com menor número de vazios.

SOUZA (2008) em sua pesquisa obteve um valor para CCA estudada correspondente a  $14.790,39 \text{ cm}^2/\text{g}$  e este valor é aproximado ao encontrado por TIBONI (2007) de  $14.302,30 \text{ cm}^2/\text{g}$ , podendo-se desta forma perceber que o valor obtido para a CCA estudada nesta pesquisa é inferior, sendo justificado pelo fato das cinzas estudadas por SOUZA (2008) e TIBONI (2007) terem passado por um tratamento de queima e moagem controladas, apresentando assim características diferentes, pois a CCA estudada não sofreu nenhum tipo de tratamento, sendo considerada como uma cinza residual.

Na Tabela 4.7 estão contidos os valores da composição química da CCA. Analisando os resultados da Tabela 4.7, observa-se que a cinza da casca do arroz é composta por um elevado teor de dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) correspondendo a 83,41% da composição. Os demais óxidos encontrados na composição química da CCA, como principais impurezas, apresentam valores inferiores a 3%.

Comparando os resultados obtidos com os valores de SOUZA (2008), LEIRIAS et al., (2005) e RÊGO (2004), que encontraram respectivamente os valores de 87,44%, 86,71% e 86,72%, observa-se que os valores obtidos são muito próximos. Estes resultados indicam que a CCA apresenta composição química favorável para que seja considerada pozolânica.



Tabela 4.7 – Composição química da cinza da casca do arroz

Composição química	
Dióxido de silício (SiO <sub>2</sub> )	83,41%
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O)	2,53%
Óxido de alumínio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,97%
Pentóxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,81%
Óxido de cálcio (CaO)	0,65%
Óxido de magnésio (MgO)	0,33%
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	0,31%
Óxido de ferro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,31%
Óxido de manganês (MnO)	0,10%
Óxido de zinco (ZnO)	0,01%
Óxido de rubídio (Rb <sub>2</sub> O)	0,00%
Óxido de estrôncio (SrO)	0,00%
Carbono (C)	0,00%
Perda ao fogo	9,55%

Na Tabela 4.8 estão contidos os resultados das propriedades químicas para o índice de atividade pozolânica, com parâmetros estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT, 1992) e ASTM C 618 (1991).

Tabela 4.8 – Propriedades químicas para o índice de atividade pozolânica

Propriedades	NBR 12653 (ABNT, 1992)	ASTM C 618 (1991)	Resultados (%) CCA
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% min.)	70	70	85,69
SO <sub>3</sub> (% máx.)	4	-	0,31
Teor de umidade (% máx.)	3	-	-
Perda ao fogo (% máx.)	10	10	9,55
Partículas > 45 µm (% máx.)	34	34	13,77

Analisando os resultados da Tabela 4.8, observa-se que o valor obtido para o somatório de SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi de 85,69% sendo superior ao mínimo estabelecido pelas normas NBR 12653 (ABNT, 1992) e ASTM C 618

(1991). Para o  $\text{SO}_3$  o valor obtido foi de 0,31% inferior ao máximo estabelecido pela norma da ABNT.

A perda ao fogo foi de 9,55% estando próximo aos limites estabelecidos. SENSALE (2006) e TIBONI (2007) encontraram valores para perda ao fogo de 8,10% e 7,44% respectivamente, sendo similares ao encontrado nesta pesquisa. O valor elevado da perda ao fogo pode implicar na atenuação da quantidade de sílica e também em alto teor de carbono existente na cinza, reduzindo a atividade pozolânica.

Para o parâmetro relacionado ao tamanho das partículas maiores que 45  $\mu\text{m}$  o valor encontrado foi de 13,77%, muito inferior aos valores estabelecidos pelas normas citadas, caracterizando a CCA como um material muito fino e pozolânico por atender a todas as exigências físicas e químicas.

A cinza da casca do arroz aplicada nesta pesquisa encontra-se dentro dos parâmetros exigidos pela NBR 12653 (ABNT, 1992) e ASTM C 618 (1991) para caracterizar um material como pozolânico.

Na Figura 4.8 está apresentado o difratograma de raios X cinza da casca do arroz.

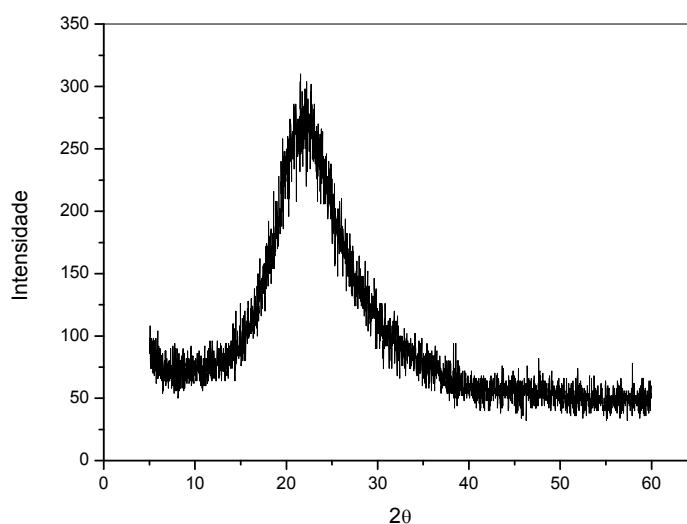


Figura 4.8 – Difratograma de raios X da cinza da casca do arroz

Na Figura 4.8, observa-se que a cinza apresenta comportamento de um material amorfo, pois apresenta uma banda correspondente a material amorfo obtida a 21°. DELLA et al.,(2001) e SOUZA (2008) obtiveram o mesmo

comportamento, relacionando a obtenção destes resultados para a banda aos 21° com a possibilidade de se ter uma sílica amorfa.

De acordo com o gráfico e através da composição química, percebe-se que provavelmente a fase predominante é o dióxido de silício, estando os demais óxidos presentes na cinza sob a forma de solução sólida, não apresentando picos característicos de fases por provavelmente se ter um percentual muito baixo.

O fato desta CCA não ter passado por um tratamento térmico, ou seja, nenhum tratamento para eliminação do carbono existente, fez com que provavelmente não houvesse a cristalização das partículas, pois de acordo com a análise feita por SOUZA (2008) que comparou seus resultados com os obtidos por DELLA et al., (2005), observaram que quando a cinza é submetida a temperaturas acima de 800 °C, o sódio e o potássio presentes em sua composição aceleram a fusão das partículas e a cristalização da cristobalita a partir da sílica amorfa, por diminuir o ponto de fusão do material. Logo, como a CCA não foi submetida a nenhuma temperatura, então não se tem a possibilidade de cristalização das partículas. Outro fator que pode ser levado em consideração para que esta cinza não seja considerada cristalina, é que não são picos finos.

A Figura 4.9 apresenta a curva da análise termogravimétrica da cinza da casca do arroz.

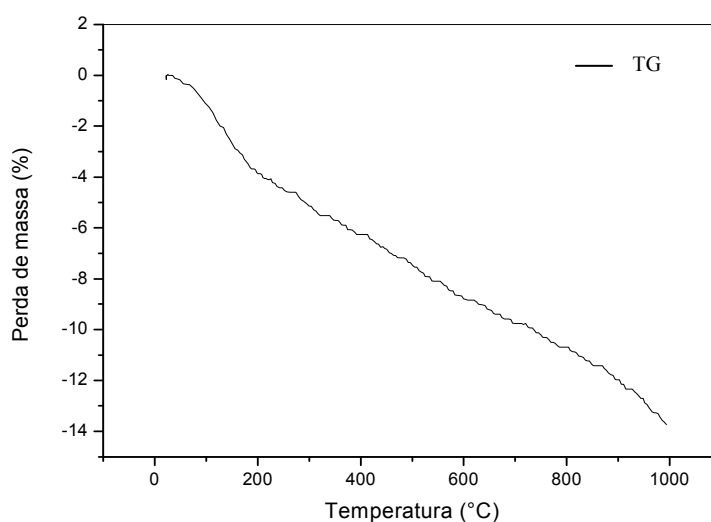


Figura 4.9 – Curva da análise termogravimétrica da cinza da casca do arroz

Para análise termogravimétrica percebe-se uma acentuada perda de massa em torno dos 200 °C, provavelmente relacionada à perda de água adsorvida superficialmente e perda de massa aos 1000 °C de 13,7%. WEBER (2001) e POUEY (2006) encontraram comportamento semelhante para as CCA estudadas, onde foi identificada perda de massa até os 200 °C. A perda de massa se tornou constante após os 200 °C até 1000 °C, ou seja, a perda de massa aumentou com o aumento da temperatura.

A Figura 4.10 está apresentada a curva de distribuição granulométrica por difração a laser da cinza da casca do arroz.

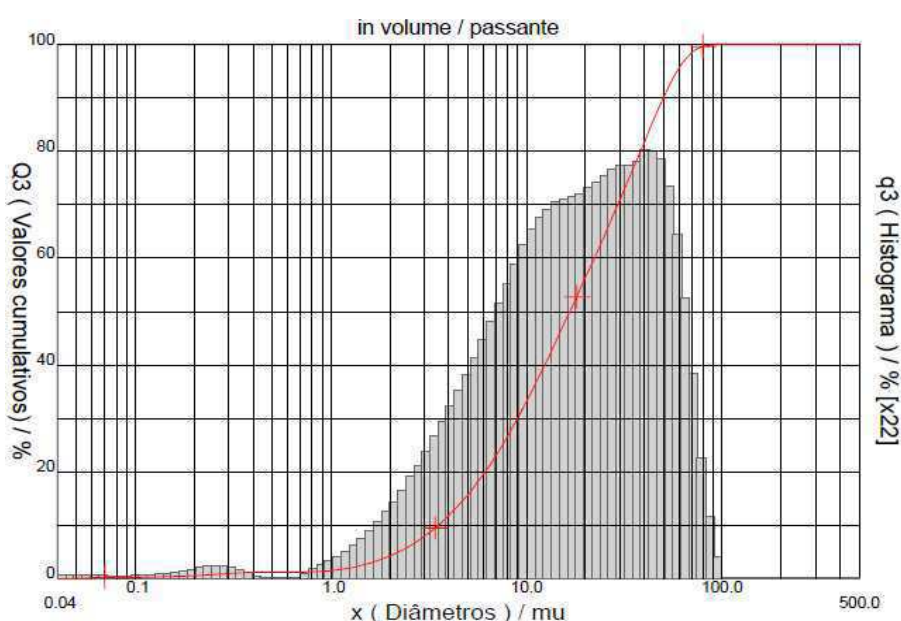


Figura 4.10 – Distribuição granulométrica por difração a laser da cinza da casca do arroz

Analisando a Figura 4.10, verifica-se que o tamanho médio das partículas da cinza da casca do arroz é de 22,24  $\mu\text{m}$ , com  $D_{10}$  correspondendo a 3,52  $\mu\text{m}$ ,  $D_{50}$  de 16,62  $\mu\text{m}$  e  $D_{90}$  sendo de 49,93  $\mu\text{m}$ . Não há partículas com tamanho superior a 100  $\mu\text{m}$ . Para o diâmetro de 5  $\mu\text{m}$  encontrou-se um valor de 15,75% indicando a possível presença de aglomerantes. DELLA (2001) e SOUZA (2008) encontraram comportamento semelhante para a curva de distribuição granulométrica.

## **4.2 Índice de atividade pozolânica**

O valor obtido para o índice de atividade pozolânica para a cinza da casca do arroz, foi de 6,3 MPa, sendo maior que o valor estabelecido pelas normas NBR 5751 (ABNT, 1992) e ASTM C 1707 (2009).

De acordo com o índice de atividade pozolânica obtido, a cinza em questão pode ser caracterizada como sendo um material pozolânico e utilizada como substituto parcial do cimento. O valor obtido não foi muito maior que o mínimo exigido pela norma da ABNT (6,0 MPa) por, provavelmente, a cal como material muito fino necessitar de uma maior quantidade de água, influenciando no resultado final. Porém, embora não tenha sido superior ao mínimo estabelecido, ele atendeu as exigências prescritas pela norma NBR 5751 (ABNT, 1992).

## **4.3 Ensaios tecnológicos**

### **4.3.1 Índice de consistência das argamassas**

A Tabela 4.9 apresenta os valores para relação água/aglomerante, teor de água e índice de consistência das argamassas.

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.9, observa-se para a relação água/aglomerante que conforme aumenta a porcentagem de finos, há um aumento na quantidade de água utilizada, para se obter o índice de consistência desejado. Provavelmente isso ocorreu devido à elevada superfície específica dos materiais aglomerantes, pois a cinza e a cal são materiais com mais finos que o cimento, existindo uma relação entre a quantidade de finos com a necessidade de água.

Tabela 4.9 – Relação água/aglomerante, teor de água e índice de consistência das argamassas

Traços	CCA (%)	Relação água/aglomerante	Teor de água (%)	Índice de consistência (mm)
1:2:9 (cimento:cal:areia)	0%	1,48	21,6	251,33
	6%	1,52	21,8	258,67
	9%	1,54	22,0	255,67
	15%	1,61	22,6	260,67
	20%	1,63	22,6	257,33
	30%	1,69	22,8	253,03
1:1:6 (cimento:cal:areia)	0%	1,33	21,2	247,67
	6%	1,37	21,4	255,67
	9%	1,40	21,6	259,27
	15%	1,43	21,6	256,05
	20%	1,47	21,8	251,20
	30%	1,53	21,8	260,00

#### 4.3.2 Densidade de massa no estado fresco

Na Figura 4.11 estão apresentados os resultados obtidos para a densidade de massa das argamassas 1:2:9 e 1:1:6 no estado fresco.

Analisando a Figura 4.11 observa-se que há uma diminuição no valor da densidade de massa de acordo com a quantidade de finos presentes nas argamassas, podendo-se observar que para o traço 1:2:9 apenas o com 6% de CCA obteve resultado superior de referência (sem CCA) e para o traço 1:1:6 percebe-se que a única argamassa que teve valor maior que o de referência foi a com 15%. Este comportamento pode, provavelmente, ser consequência da quantidade de água utilizada para moldagem das argamassas que foi aumentando de acordo com a quantidade de finos para garantir a trabalhabilidade desejada, podendo também ser decorrente da estrutura porosa da cinza e da ausência das reações de hidratação e pozolânicas. Ao comparar o comportamento das argamassas 1:2:9 com as 1:1:6 pode-se observar que

elas apresentam valores bem próximos, provavelmente, pela relação agregado/aglomerante serem iguais para os dois tipos.

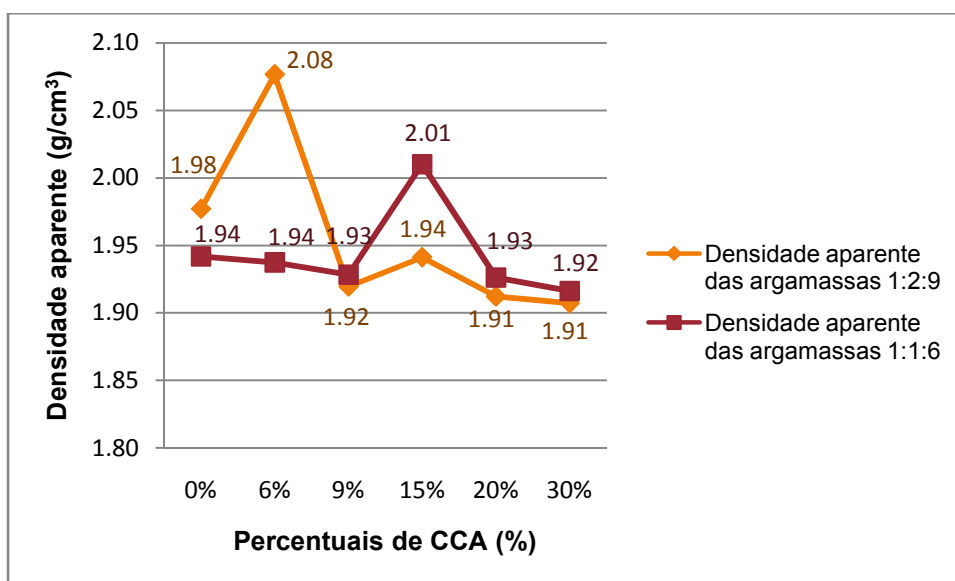


Figura 4.11 – Densidade aparente das argamassas 1:2:9 e 1:1:6 no estado fresco

#### 4.3.3 Teor de ar incorporado

Na Figura 4.12 estão contidos os resultados obtidos para o teor de ar incorporado das argamassas 1:2:9 e 1:1:6.

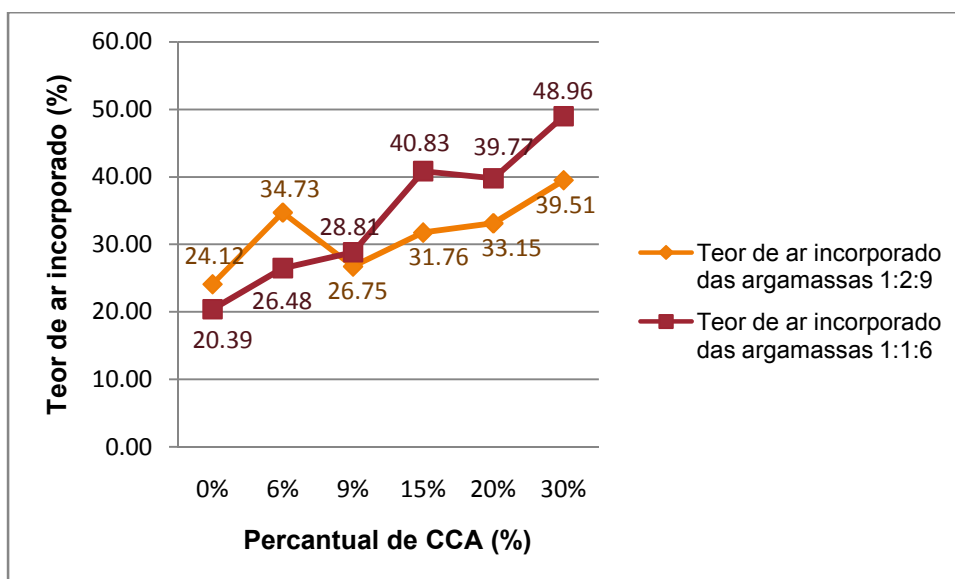


Figura 4.12 – Teor de ar incorporado das argamassas 1:2:9 e 1:1:6

De acordo com os resultados obtidos na Figura 4.12, observa-se para as argamassas 1:2:9 que todas as que possuem percentuais de CCA apresentaram valores de teor de ar incorporado maiores que as de referência, mesmo comportamento é verificado para as argamassas 1:1:6. Esse comportamento pode ser avaliado quando se relaciona os dois tipos de argamassas, pois as argamassas no traço 1:1:6 apresentaram maiores percentuais de ar incorporado que as argamassas no traço 1:2:9 para percentuais de 9%, 15%, 20% e 30% de CCA, provavelmente por a CCA ter uma estrutura porosa e também pela influência da quantidade de água utilizada pra confecção das argamassas.

Existe uma relação inversamente proporcional entre a densidade de massa no estado fresco e o teor de ar incorporado, pois quanto menor a densidade de massa, maior o teor de ar incorporado na argamassa. Logo, através dos resultados obtidos para estas duas propriedades pode-se confirmar o comportamento destas argamassas.

Pelos limites estabelecidos pela NBR 13281 (ABNT, 1995), as argamassas de assentamento e revestimento podem ser classificadas como sendo do tipo C, pois todas apresentaram percentual do teor de ar incorporado maior que 18%.

#### **4.3.4 Densidade de massa no estado endurecido**

Na Figura 4.13 estão apresentados os valores da densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias de cura para os traços 1:2:9 e 1:1:6.

Na Figura 4.13 pode-se observar que as argamassas 1:2:9 com 9%, 15%, 20% e 30% de CCA em sua constituição, são os que apresentam os maiores valores. O comportamento destas argamassas pode ser justificado porque as adições minerais agem na argamassa, tornando a matriz da pasta mais densa e conseqüentemente menos porosa, correspondendo à elevação da resistência devido o preenchimento dos vazios. As argamassas com 6% de CCA não apresentaram densidade maior que as argamassas de referência, por provavelmente, não terem ocorrido às reações pozolânicas que para alguns casos são muito lentas.



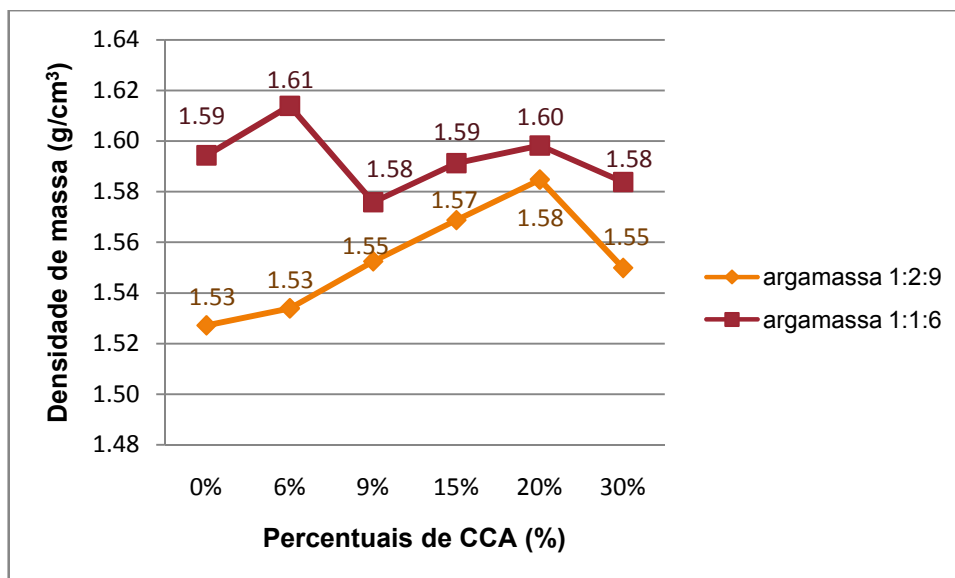


Figura 4.13 – Densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias de cura para os traços 1:2:9 e 1:1:6

Para as argamassas 1:1:6 as que apresentaram melhor desempenho foram as de referência e as com 6%, 15% e 20% de CCA. As demais argamassas não obtiveram valor muito inferior, provavelmente, por não ter iniciado as reações de hidratação e pozolânicas para este período de cura.

As argamassas estudadas tanto para o traço 1:2:9 como para o traço 1:1:6, pode-se perceber que houve um bom aproveitamento quanto ao uso da cinza da casca do arroz como substituto parcial do cimento. Como a densidade de massa é inversamente proporcional à porosidade, então pode-se dizer que quanto mais densa consequentemente se terá uma maior RCS, havendo desta forma uma redução na zona de transição destas argamassas.

SOUZA (2008) obteve o mesmo comportamento para as argamassas estudadas, tendo a maior densidade para a argamassa que apresentou melhor resistência a compressão simples.

#### 4.3.5 Absorção por imersão em água

A Figura 4.14 apresenta os resultados obtidos para a absorção das argamassas no traço 1:2:9 para os períodos 28, 63 e 91 dias de cura.

Ao analisar a Figura 4.14 pode-se observar que aos 63 dias de cura houve um sutil aumento no teor de absorção, mas aos 91 dias para todas as argamassas, obtiveram uma diminuição no teor de absorção de água sendo,

portanto confirmado através dos resultados obtidos para a resistência à compressão simples das argamassas que tiveram um aumento na resistência de acordo com a idade de cura. O comportamento aos 63 dias de cura pode ter acontecido, provavelmente, por se ter grande quantidade de agregado miúdo, favorecendo um maior índice de vazios. SOUZA (2008) para o traço 1:8 obteve comportamento semelhante.

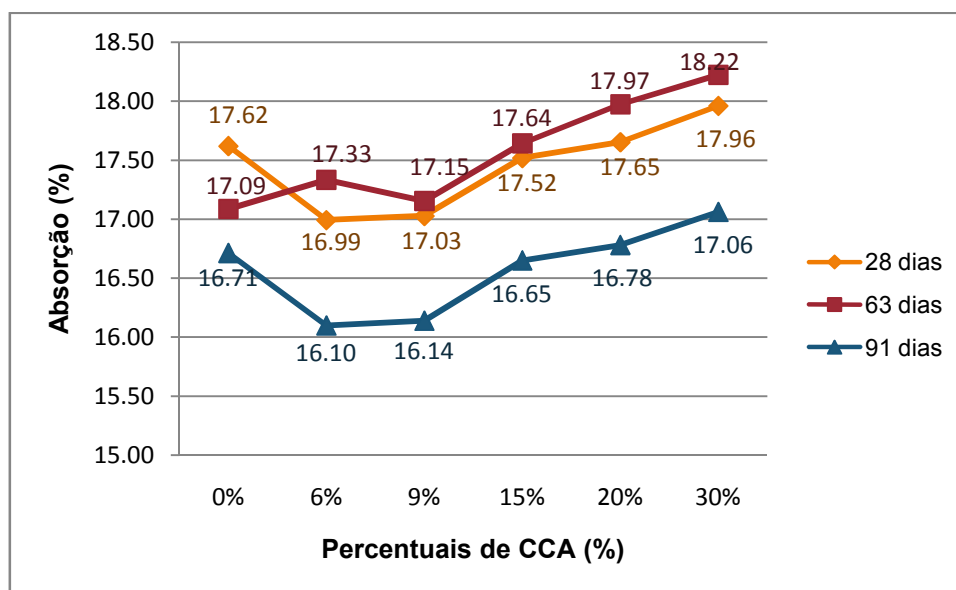


Figura 4.14 – Teor de absorção das argamassas no traço 1:2:9 para 28, 63 e 91 dias de cura

Aos 28 dias de cura observa-se que os traços com 6%, 9% e 15% obtiveram melhor comportamento que o traço de referência. Aos 91 dias estas mesmas argamassas com 6%, 9% e 15% de CCA apresentaram os menores teores de absorção. Este comportamento pode ter acontecido, provavelmente, pelo fato de que com o decorrer do tempo de cura que há uma maior acomodação das partículas, acontecendo desta forma uma diminuição da porosidade, um aumento na resistência a compressão simples e conseqüentemente uma diminuição no teor de absorção da água. Esta conseqüência influencia positivamente nas propriedades mecânicas da argamassa, pois com a diminuição dos vazios há uma diminuição na permeabilidade e um aumento na durabilidade destas argamassas.

Na Figura 4.15 estão apresentados os resultados para a absorção por imersão em água das argamassas no traço 1:1:6 para os períodos 28, 63 e 91 dias de cura.

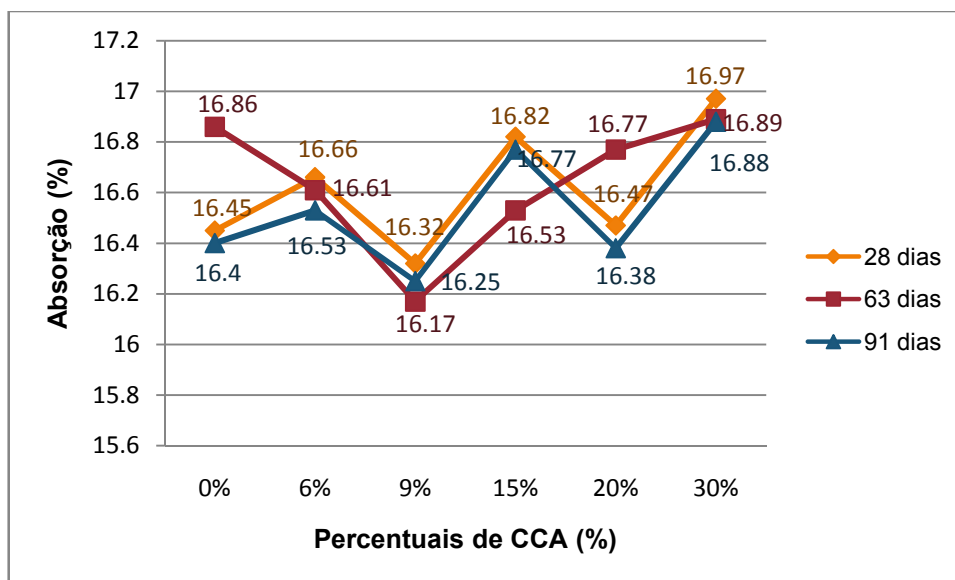


Figura 4.15 – Teor de absorção das argamassas no traço 1:1:6 para 28, 63 e 91 dias de cura

Para o proporcionamento de 1:1:6 pode-se observar na Figura 4.15 que aos 28 dias de idade as argamassas que apresentaram os melhores valores foram as com 9% e 20% de CCA e também são estas as argamassas com melhor desempenho mecânico. Percebe-se que para os 63 dias de cura estas argamassas obtiveram o mesmo comportamento das argamassas 1:2:9, pois estas também possuem grande quantidade de agregado miúdo, tendo possivelmente uma maior quantidade de vazios.

Aos 91 dias ocorre uma diminuição no teor de absorção destas argamassas, provavelmente por que à medida que o tempo de cura aumenta tem-se uma diminuição no valor correspondente ao teor de absorção, ocorrendo para as argamassas com CCA, uma reação da CCA com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), formando o silicato de cálcio hidratado (C-S-H), que é o maior responsável pela resistência das pastas de cimento, caracterizando assim o efeito pozolânico, ou seja, aos 91 dias de cura deve-se ter ocorrido as reações pozolânicas favorecendo positivamente o comportamento mecânico e conseqüentemente a absorção destas argamassas.

#### 4.3.6 Resistência à compressão simples

Na Figura 4.16 estão apresentados os valores da resistência à compressão simples das argamassas 1:2:9 de referência e com percentuais de substituição da cinza da casca do arroz pelo cimento para idades de 28, 63 e 91 dias.

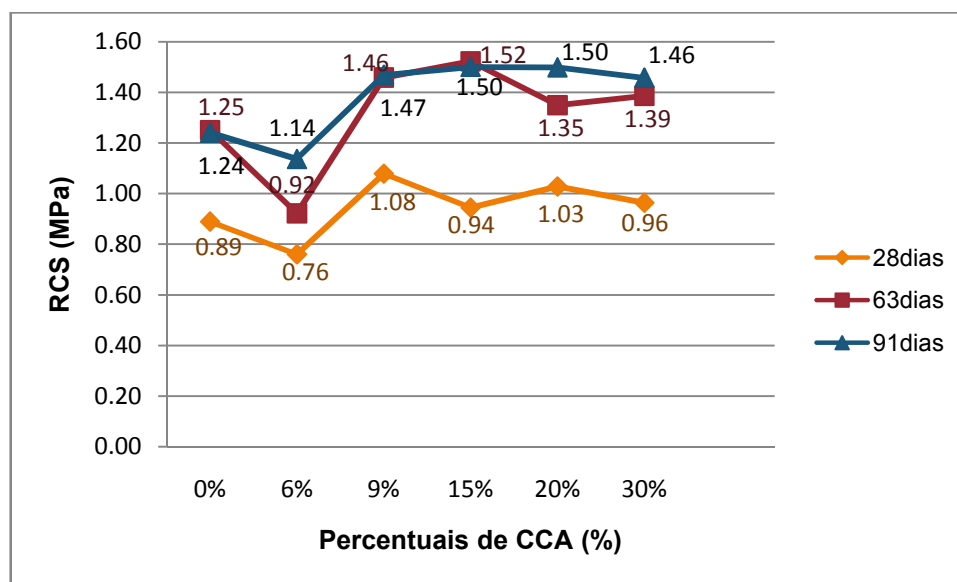


Figura 4.16 – Resistência a compressão simples das argamassas 1:2:9 para 28, 63 e 91 dias de cura

Ao analisar a resistência à compressão simples obtida para as argamassas 1:2:9, na Figura 4.16 é possível observar que há um aumento considerável da resistência para todas as argamassas até os 63 dias e após essa idade não houve acréscimo significativo desta propriedade. Embora não ter sido significativo o acréscimo das resistências, o comportamento de todas as misturas aos 91 dias mostra-se ascendente, indicando que, possivelmente, a resistência a compressão aumentará em idades posteriores, podendo ser explicado pelo ocorrência das reações pozolânicas após os 91 dias de cura. SOUZA (2008) estudou argamassas com CCA até 360 dias de cura e verificou que a resistência aumentou com o decorrer do tempo.

As argamassas com 6% de CCA foram às únicas com resultados inferiores aos das argamassas de referência para todos os períodos de cura estudados, provavelmente pela ocorrência de erros sistemáticos, na moldagem, quantidade de água ter sido um pouco maior, dentre outros fatores.

As argamassas com percentuais de CCA superiores a 6%, apresentaram melhor desempenho mecânico em todos os períodos de cura, sendo as argamassas com 15% de CCA as que obtiveram os maiores valores para a resistência a compressão simples para os períodos de 63 e 91 dias de cura.

Diferentemente de alguns autores como TIBONI (2007), SOUZA (2008), dentre outros, que utilizaram a cinza da casca do arroz em argamassas e concretos, a cinza utilizada nesta pesquisa apresentou já aos 28 dias desempenho mecânico superior ao das argamassas de referência (sem CCA), exceto com 6% de CCA, podendo ter acontecido provavelmente pelo fato da CCA ter reagido rapidamente com o hidróxido de cálcio formando C-S-H, isto é, a reação não foi tão lenta quanto se espera de uma reação pozolânica comum, o que corresponde à ocorrência de reação pozolânica desde os 28 dias de idade. SILVA (2009) encontrou aos 7 dias, para argamassas com CCA desempenho mecânico superior ao das argamassas sem CCA.

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

Na Figura 4.17 estão apresentados os resultados obtidos para a resistência a compressão simples das argamassas 1:1:6 de referência e com a cinza da casca de arroz como substituto parcial do cimento nos percentuais de 6%, 9%, 15%, 20% e 30% para idades de 28, 63 e 91 dias.

Analisando a Figura 4.17, quando comparada à resistência entre os 28 e 91 dias de cura, pode-se observar que todas as argamassas apresentaram um aumento na resistência à compressão simples para todas as idades estudadas, e após os 63 dias não se teve aumento significativo nestas resistências, fato ocorrido igualmente com as argamassas 1:2:9.

Aos 28 dias de idade as argamassas ensaiadas obtiveram valor superior a 2,00 MPa e as argamassas contendo 6%, 9% e 20% de cinza da casca de arroz apresentaram valor superior ao da argamassa de referência, sendo de 2,31 MPa, 2,70 MPa e 2,27 MPa para argamassas com CCA respectivamente e para a de referência 2,20 MPa.

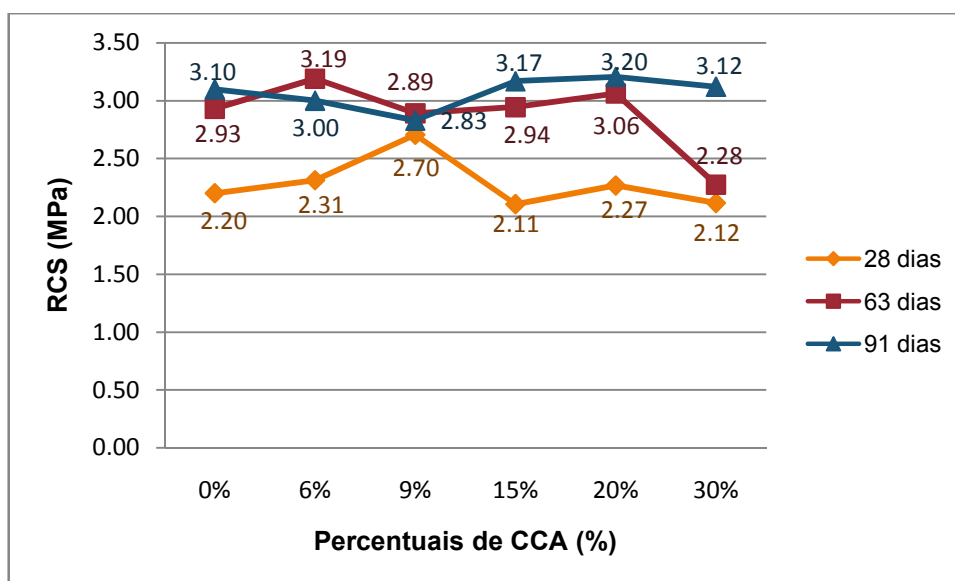


Figura 4.17 – Resistência a compressão simples das argamassas 1:1:6 para 28, 63 e 91 dias de cura

Observa-se também que aos 91 dias de idade as argamassas que apresentaram melhor desempenho mecânico foram as que contêm percentuais de cinza da casca do arroz em sua constituição, correspondendo a 15%, 20% e 30%. TIBONI (2007) ao avaliar a substituição da CCA em concretos, observou que para pequenos percentuais de cinza de casca de arroz, em compósitos à base de cimento não se obtinha melhora no desempenho mecânico, não influenciando desta forma no resultado final.

Um dos fatores que propicia um aumento na resistência a compressão simples de argamassas é o fato de haver uma melhoria na zona de transição, pois com a utilização de sílicas ativas há uma diminuição da quantidade de cristais decorrentes do cálcio, dos espaços vazios e aumento da adesividade pasta-agregado (TIBONI, 2007).

Analisando os dois tipos de argamassas estudadas, as argamassas no traço 1:2:9 foram as que obtiveram desempenho mecânico inferior quando comparadas com as argamassas no traço 1:1:6, provavelmente ocorreu pela razão do proporcionamento e pela quantidade de aglomerante ser inferior a quantidade de agregado da mistura, ou seja, quanto menor a relação entre cimento e agregado menor a possibilidade de se formar produtos através de reações de hidratação o que leva a se obter menores resistências.

Embora os valores das argamassas 1:2:9 tenham sido inferiores aos das argamassas 1:1:6, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 1995) que classifica as argamassas conforme o valor da resistência à compressão simples, pode-se verificar que estas são classificadas como sendo do tipo padrão I que estabelece um intervalo de  $0,1\text{MPa} < \text{RCS} < 4,0\text{MPa}$ , aos 28 dias de cura. Todos os valores obtidos, tanto o da argamassa convencional como os com CCA, obedecem à prescrição da NBR 13281 (ABNT, 2001), podendo então confirmar a viabilidade da utilização da CCA em argamassas quanto ao desempenho mecânico das argamassas.

# CAPÍTULO 5

## Conclusões





## 5. Conclusões

Através dos estudos da incorporação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento e revestimento, pode-se concluir que:

### **Caracterização física, química e mineralógica das matérias-primas convencionais e alternativas**

- a) O cimento apresentou resultados satisfatórios, atendendo a todas as exigências estabelecidas pelas normas da ABNT e através do difratograma de raios X observou-se a presença de picos como  $\text{Ca}_3\text{SiO}_4$ ,  $\text{Ca}_3\text{Fe}$ ,  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$  e  $\text{CaCO}_3$ .
- b) A cal apresenta características de uma cal dolomítica. No difratograma de raios X a cal apresentou picos de  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  e  $\text{Ca(OH)}_2$ . Este material atendeu a todas as exigências prescritas pelas normas da ABNT.
- c) A areia possui distribuição granulométrica adequada para ser utilizada na produção de argamassas.
- d) A cinza da casca do arroz apresentou comportamento de um material amorfo, alto teor de dióxido de silício e elevada superfície específica, caracterizando o material como sendo adequado para produção de argamassas.

### **Atividade pozolânica da cinza da casca do arroz**

A cinza da casca do arroz de acordo com a norma da ABNT apresentou valor maior que o mínimo estabelecido, caracterizando este material como sendo pozolânico e também podendo ser considerado adequado para uso como aglomerante na produção de argamassas.

### **Índice de consistência das argamassas de assentamento e revestimento**

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

### **Propriedades físicas e mecânicas das argamassas de assentamento e revestimento**

- a) As argamassas de assentamento e revestimento foram classificadas de acordo com a norma da ABNT como sendo do tipo C, quando relacionado ao teor de ar incorporado.
- b) Para a densidade de massa no estado endurecido, observou-se que as argamassas com CCA apresentaram melhor desempenho que as argamassas de referência. As argamassas de revestimento (traço 1:1:6) apresentaram melhor comportamento quando comparadas com as de assentamento (traço 1:2:9).
- c) O índice de absorção das argamassas diminuiu aos 91 dias de cura, tanto para as argamassas de assentamento quanto para as argamassas de revestimento.
- d) Os resultados da resistência à compressão simples tanto para argamassas de assentamento quanto para as de revestimento demonstraram aumento considerável para todas as argamassas até os 63 dias e aos 91 dias não foi observado aumento significativo.
- e) As argamassas de assentamento e revestimento de acordo com o desempenho podem ser classificadas como padrão I através das prescrições estabelecidas pelas normas da ABNT.

### **Conclusão final**

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

A investigação da utilização deste resíduo como material alternativo em argamassas é muito importante porque além de contribuir para o aumento das propriedades mecânicas, pode reduzir os custos de uma construção devido à diminuição do consumo de cimento e também os danos que esta cinza causa ao meio ambiente, uma vez que ela é utilizada no processo de fabricação como material alternativo de um componente da construção civil.

## CAPÍTULO 6

### Sugestões para futuras pesquisas



## **6. Sugestões para futuras pesquisas**

- Investigar as patologias que a cinza da casca do arroz pode causar em argamassas de assentamento e revestimento;
- Analisar o desempenho físico e mecânico de argamassas com incorporação dos percentuais 50%, 75% e 100% de cinza da casca do arroz como substituto do cimento;
- Estudar a incorporação da cinza da casca do arroz sem tratamento prévio de moagem e temperatura em argamassas.

# CAPÍTULO 7

## Referências bibliográficas



## 7. Referências bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

\_\_\_\_\_. **NBR 5751**: Determinação do índice de atividade pozolânica com cal. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de Estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 6474**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 7200**: Revestimentos de paredes e tetos com argamassas. Materiais, preparo, aplicação e manutenção – Procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217**: Determinação de composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 7219**: Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 7251**: Agregados no estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776:** Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 11579:** Cimento Portland Comum – Determinação do módulo de finura. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653:** Materiais Pozolânicos – Exigências químicas e físicas. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação de consistência. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13281**: Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 76**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da finura pelo método da permeabilidade ao ar (Método Blaine). Rio de Janeiro, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete: **ASTM C 618**. 3p. In Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard specification for specification pozzolanic hydraulic lime for structural purposes: **ASTM C 1707**. 3p. In Annual Book of ASTM Standards. Pensilvania, 2009.

BATTAGIN, A. F. (2004). **Uma Breve História do Cimento Portland**. 2004 <<http://www.abcp.org.br>> (Acesso em 11/11/2009).

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. **Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, VI, 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, p. 83-94, 2005.

CIMPOR BRASIL. **Assentamento de Alvenaria M5/M10**. <[www.cimpor-portugal.pt](http://www.cimpor-portugal.pt)> (Acesso em 23/11/2009).

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concreto**. 2006. 445f. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2006.



DELLA, V. P. **Processamento e caracterização de sílica ativa obtida a partir de cinzas de casca de arroz.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2001.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. **Reciclagem de resíduos agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica.** Revista Cerâmica Industrial, p. 22-25, 2005.

FENG, Q.; et al., **Efficiency of highly active rice husk ash on the high-strength concrete.** In: International Congress on the Chemistry of Cement, 11., 2003. Durban- South Africa. Proceedings...Durban: The Cement and Concrete Institute of South Africa, 2003. p.816-822. 1 CD-ROM

FERREIRA, C. S. **Desenvolvimento do processo de obtenção de filme polimérico a partir da cinza da casca de arroz.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2005.

ISAIA, G. C. **Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura.** 1995. 232f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

KANGUE, C. S. P.; RAMIRO, P. E. L.; SALES, A.; SOUZA, F. R. **Concretos e argamassas reciclados com lodo de estação de tratamento de água e entulho de concreto.** Congresso de Iniciação Científica, 2007, São Carlos, Anais de eventos da UFSCar, v.3, p.336, 2007.

KAZMIERCZAK, C. S. **Apostila de Materiais de construção civil II.** CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNISINOS – RS, 2004.

LEIRIAS, H. S.; FERREIRA, H. C.; CONCIANI, W. **Estudo da influência da cinza da casca de arroz na massa de argila para produção de blocos cerâmicos 8 furos.** Seminário Mato-Grossense de Habitação de Interesse Social, 2005, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: CEFETMT, EdUFMT, p. 469-476, 2005.

LIMA, S. A.; ROSSIGNOLO, J. A.; CAMPOS, M. F. **Pozolanicidade e resistência mecânica de argamassas confeccionadas com cinza da casca da castanha de caju.** Revista Minerva, v. 5, p. 249-256, 2008.

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.

MATTOS, L. R. S.; DAL MOLIN, D. C. C. **Caracterização das argamassas para revestimento externo utilizadas em Belém/PA (Brasil): estudo do comportamento no estado fresco.** Engenharia Civil, UM, nº 15. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRS, Porto Alegre – RS, 2002.

MEHTA, P. K., PIRTZ, D. **Use of rice hull ash to reduce temperature in highstrength mass concrete.** ACI Journal, v. 75, n. 7, pp. 60-63, 1978.

METHA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto – Estrutura, propriedades e materiais.** Ed. Pini. 1ª Ed. 573p. São Paulo – SP, 1994.

MEHTA, P. K., PITT, N. **Energy and industrial materials from crop residues.** Resource Recovery and Conservation, v. 2, pp. 23-28, 1976.

MILANI, A. P. S. **Avaliação Física, Mecânica e Térmica do Material Solo-Cimento-Cinza de Casca de Arroz e seu Desempenho como Parede Monolítica.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas – SP, 2008.

NAIR, D. G.; FRAAIJ, A.; KLAASSEN, A. A. K.; KENTGENS, A. P. M. **A structural investigation relating to the pozzolanic activity of rice husk ashes.** Cement and Concrete Research, Elmsford, v.38, n 1, p. 861-869, 2008.

PEZENTE, J. H. **Cal nas argamassas.** <<http://www.escolher-e-construir.eng.br>> (Acesso: 19/11/2009).

PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento Portland.** 13<sup>a</sup> Ed., rev. Por Paulon, V. A. Editora Globo, São Paulo – SP, 1998.

PITT, N. **Process for preparation of siliceous ashes.** United States Patent US 3.959.007, 1976.

POUEY, M. T. F. **Beneficiamento da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre – RS, 2006.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.; SANTOS, S.; DAFICO, D. A. **Cinzas da casca de arroz. Coletânea Habitare: Utilização de resíduos na construção civil.** Programa de Tecnologia de Habitação, vol. 4, pg. 242-246, Porto Alegre – RS: ANTAC, 2003.

RÊGO, J. H. S. et al., **Caracterização do resíduo cinza de casca de arroz (CCA) no Brasil.** In: JORNADAS SUD-AMERICANAS DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, 31., 2004, Mendoza-Argentina. Anais... Mendoza, Argentina: Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, 2004. 1 CD-ROM.

RÊGO, J. H. S.; FIGUEIREDO, E. P. **Rice husk ash (RHA) obtained without temperature control as partial substitute of cement in high performance concretes.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 3., 2002. Recife – PE. Proceedings...Recife: UPE, 2002. 1 CD-ROM.

ROCHA, A. K. A. **Incorporação de Resíduo de Caulim em Argamassas de Alvenaria.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande – PB, 2005.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílicocalcária.** 1984, 298p. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 1984.

SACILOTO, A. P. **Comportamento frente à ação de cloretos de concretos compostos com adições minerais submetidos a diferentes períodos de cura.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria – RS, 2005.

SANTOS, H. B. **Ensaio de Aderência das Argamassas de Revestimento.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2008.

SENSALE, G. P. B. R. **Estudo comparativo entre as propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com cinzas de casca de arroz.** Tese de Doutorado. 250p. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2000.

SENSALE, G. P. B. R. **Strength development of concrete with rice-husk ash.** Cement and Concrete Composites, n.28, p.158-160, USA, 2006.

SILVA, N. G. **Argamassa de Revestimento de Cimento, Cal e Areia Britada de Rocha Calcária.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2006.

SILVA, R. P. **Argamassas com adição de fibras de polipropileno – Estudo do comportamento reológico e mecânico.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2006.

SILVA, E. J. **Contribuição para utilização de cinza de casca de arroz na construção civil.** Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia – UNESP. Ilha Solteira – SP, 2009.

SOUSA, S. M. T. **Tijolos de terra crua reforçada com fibras vegetais.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, CAMPUS II. Campina Grande – PB, 1993.

SOUZA, J. **Estudo da durabilidade de argamassas utilizando cinzas e casca de arroz no traço.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB, 2008.

TASHIMA, M. M.; SILVA, C. A. R. L.; AKASAKI, J. L. **Concreto com adição de cinza de casca de arroz (CCA) obtida através de um processo de combustão não controlada.** XXXI Jornada Sud-americanas de Ingeniería Estructural, Mendoza, Argentina, 2004.

TIBONI, R. A **Utilização da Cinza da Casca de Arroz de Termoelétrica como Componente do Aglomerante de Compósitos à Base de Cimento Portland.** Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos – SP, 2007.

WEBER, S. L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz.** 96p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2001.

ZHANG, M. H.; MALHOTRA, V. M. **High-performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material.** ACI Materials Journal, v.93, n.6, November/December, p.629-636, 1996.