



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

TASSO WILLIAM ALVES DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO ADICIONADAS
COM CINZAS DE BRIQUETES DE CASCA DE COCO DE BABAÇU**

Caruaru, 2013

TASSO WILLIAM ALVES DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO ADICIONADAS
COM CINZAS DE BRIQUETES DE CASCA DE COCO DE BABAÇU**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Ana Cecília Vieira da Nóbrega

Caruaru, 2013

Catálogo na fonte

Bibliotecária Simone Xavier CRB4 - 1242

S586d Silva, Tasso William Alves da.
Desenvolvimento de argamassas de revestimento adicionadas com cinzas de casca de briquetes de coco de babaçu. / Tasso William Alves da Silva- Caruaru: O Autor, 2013.
101f; il.; 30 cm.

Orientadora: Ana Cecília Vieira da Nóbrega
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA. Engenharia Civil, 2013.
Inclui bibliografia

1. Argamassa. 2. Revestimentos. 3. Babaçu I. Nóbrega, Ana Cecília Vieira da. (orientadora). II. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2013-18)

TASSO WILLIAM ALVES DA SILVA

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO ADICIONADAS COM
CINZAS DE BRIQUETES DE CASCA DE COCO DE BABAÇU

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Construção Civil

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato
TASSO WILLIAM ALVES DA SILVA APROVADO COM NOTA_____.

Caruaru, 12 de 04 de 2013.

Profª Ana Cecília Vieira da Nóbrega _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Profª Erika Pinto Marinho _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. Flávio Eduardo Gomes Diniz _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Elder Alpes de Vasconcelos _____

Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo amor, incentivo, e principalmente paciência ao longo desses 20 e poucos anos, e ao meu querido irmão, grande amigo de todas as horas.

AGRADECIMENTOS

Nenhuma conquista é resultado de um trabalho isolado, muito menos individual. Dessa forma, meus sinceros agradecimentos a Prof^a Ana Cecília pela definição do tema e orientação neste trabalho.

Ao prof^o Flávio Eduardo Gomes Diniz que sempre se mostrou bastante prestativo quando solicitado para esclarecimento de dúvidas não apenas neste, mas em todos os demais trabalhos e atividades que seguiram durante o período de graduação.

A todos os demais professores e professoras, por compartilhar seus conhecimentos.

Aos meus sócios acadêmicos, Bruno Melo e Caio Batista, pela colaboração nas atividades experimentais deste trabalho.

Agradeço também a todos os meus amigos e colegas de curso pelo companheirismo nessa árdua, porém sem sombra de dúvida, bem humorada jornada chamada engenharia civil.

“O futuro não é um lugar onde estamos indo, mas um lugar que estamos criando. O caminho para ele não é encontrado, mas construído, e o ato de fazê-lo muda tanto o realizador quanto o destino.”

Antoine de Saint-Exupéry

RESUMO

Desenvolvimento de argamassas de revestimento adicionadas com cinzas de casca de briquetes de coco de Babaçu.

Nas últimas décadas a humanidade tem procurado da melhor forma possível conferir mais sustentabilidade em todos os setores de produção, buscando tanto por fontes de energia mais limpas quanto por uma melhor e mais racional destinação para seus resíduos, no contexto regional, verifica-se uma gradativa substituição da lenha de algaroba por briquetes, dentre eles o briquete de casca de coco de babaçu, como fonte combustível mais limpa para fornos de olarias, pizzarias, padarias e ainda as caldeiras das mais de 240 lavanderias de jeans da região. De forma a se antecipar a inovação, este trabalho avaliou a incorporação das cinzas residuais dessa nova matriz energética em argamassas de revestimento, assim oferecendo uma alternativa para destinação destes resíduos antes mesmo de sua massiva produção. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que a adição de 17% de cinzas em relação à massa do cimento é tecnicamente viável para argamassas de revestimento, não comprometendo as propriedades tanto no estado fresco quando no estado endurecido.

Palavras-chave: Argamassa, Revestimento, Cinza, Babaçu.

ABSTRACT

Development of mortar coating with added husk ash briquettes coconut of babassu.

In recent decades mankind has sought the best possible way to bring more sustainability in all sectors of production, both looking for sources of cleaner energy as a better and more rational allocation to their residues, in the regional context, there is a gradual substitution of mesquite firewood for briquettes, among them the briquette of coconut shell babassu, as cleaner fuel source for pottery, pizzerias, bakeries and even boilers of more than 240 jeans laundries of the region. In order to anticipate the innovation, this study evaluated the incorporation of the ashes of this new energy matrix in mortar coating, thus offering an alternative to disposal of these wastes even before its mass production. Based on these results, it was found that the addition of 17% ashes on the mass of the cement is technically viable for the coating mortar, does not compromise the properties either in the fresh state or in the hardened state.

Key words: Mortar, Coating, Ash, Babassu.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - NÓDULOS DE CLÍNQUER DE CIMENTO PORTLAND	21
FIGURA 2 - MICROGRAFIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DE CRISTAIS HEXAGONAIS TÍPICOS DE MONOSSULFATO HIDRATADO E CRISTAIS ACICULARES DE ETRINGITA FORMADOS PELA MISTURA DE SOLUÇÕES DE ALUMINATO DE CÁLCIO E DE SULFATO DE CÁLCIO.	24
FIGURA 3 - MICROGRAFIA ELETRÔNICA DE VARREDURA DE UMA PASTA DE CIMENTO PORTLAND COM 3 DIAS DE IDADE MOSTRANDO OS CRISTAIS DE C-S-H(A) E OS GRANDES CRISTAIS DE CA(OH)2(B).	25
FIGURA 4 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE PARTÍCULAS DE CIMENTO PORTLAND EM PASTAS SEM ADITIVOS (A), COM ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE (B), E COM SUPERPLASTIFICANTE E ADITIVO MINERAL DE ELEVADA FINURA (FÍLLER)(C).	35
FIGURA 5 - PALMEIRA E FRUTOS DO BABACU (ORBIGNYA PHARELATA).	46
FIGURA 6 - CORTE TRANSVERSAL DO COCO DE BABAÇU.	47
FIGURA 7 - ÁREAS DE OCORRÊNCIA DO BABAÇU. EM DESTAQUE REGIÃO DO COCAIS NA DIVISA ENTRE OS ESTADOS DO MARANHÃO E PIAUÍ.	48
FIGURA 8 – BRIQUETES VARIADOS.	51
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA DE ETAPAS E ENSAIOS REALIZADOS	54
FIGURA 10 - CURVA GRANULOMÉTRICA DA AREIA.	57
FIGURA 11 - FORNO DE PIZZARIA UTILIZADO PARA OBTER AS CCCB UTILIZADAS NAS ATIVIDADES DESTE TRABALHO.	58
FIGURA 12 - CINZA DE CASCA DE COCO DE BABAÇU APÓS PENEIRAMENTO EM MALHA 150MM.	58
FIGURA 13 - ARGAMASSADEIRA ELETRO-MECÂNICA DE EIXO VERTICAL.	62
FIGURA 14 - DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA.	63
FIGURA 15 - FUNIL DE BUCHNER PREENCHIDO COM ARGAMASSA DURANTE SUCCÇÃO.	65
FIGURA 16 - ARGAMASSA PRODUZIDA MANUALMENTE NO LOCAL DE APLICAÇÃO.	67
FIGURA 17 - CORPOS DE PROVA NOS MOLDES ACOMODADOS AO AR LIVRE.	68
FIGURA 18 – CORPO DE PROVA POSICIONADO NA PRENSA DURANTE ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NA FLEXÃO.	69
FIGURA 19 - CORPO DE PROVA ROMPIDO À TRAÇÃO NA FLEXÃO.	70
FIGURA 20 - CORPO DE PROVA POSICIONADO PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO (A) E EM SEGUIDA APÓS RUPTURA (B).	70
FIGURA 21 - CORPOS DE PROVA POSICIONADOS NO RECIPIENTE COM ÁGUA EM TEMPERATURA AMBIENTE POR 72 HORAS (A), E EM RECIPIENTE COM ÁGUA EM EBULIÇÃO (B).	72
FIGURA 22 - PESAGEM DOS CORPOS DE PROVA EM BALANÇA HIDROSTÁTICA.	72
FIGURA 23 - CORPOS DE PROVA IMERSOS EM UMA LAMINA DE ÁGUA CONSTANTE DE 5 ± 1 MM.	75

FIGURA 24 - CORPOS DE PROVA DURANTE A PESAGEM, PROCEDIMENTO EMPREGADO APÓS 10 E 90 MINUTOS DE IMERSÃO.	75
FIGURA 25 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS ÍNDICES DE CONSISTÊNCIA REFERENTE À ARGAMASSA EXPERIMENTAL CONTENDO VARIADAS PORCENTAGENS DE CCCB ADICIONADAS.	80
FIGURA 26 - RETENÇÃO DE ÁGUA DA ARGAMASSA EXPERIMENTAL ADICIONADAS COM CCCB A 17%.	81
FIGURA 27 - DENSIDADE DE MASSA DA ARGAMASSA EXPERIMENTAL ADICIONADAS COM CCCB A 17% COMPARADAS COM A ARGAMASSA DE REFERÊNCIA.	82
FIGURA 28 - APLICAÇÃO DA ARGAMASSA DE REFERÊNCIA, SEM ADIÇÃO DE CCCB.	84
FIGURA 29 - APLICAÇÃO DA ARGAMASSA CONTENDO ADIÇÃO DE CCCB, 17% EM RELAÇÃO A MASSA DO CIMENTO.	84
FIGURA 30 - VERIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS APÓS 3 DIAS DE APLICAÇÃO, REFERÊNCIA (A) E COM ADIÇÃO DE CCCB (B).	85
FIGURA 31 - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO PARA ARGAMASSA COM E SEM ADIÇÃO DE CCCB.	86
FIGURA 32 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA ARGAMASSA COM E SEM ADIÇÃO DE CCCB.	87
FIGURA 33 - DENSIDADE DE MASSA PARA O ESTADO ENDURECIDO DA ARGAMASSA EXPERIMENTAL ADICIONADAS COM CCCB A 17% COMPARADAS COM A ARGAMASSA DE REFERÊNCIA.	88
FIGURA 34 - ABSORÇÃO DE ÁGUA EM ARGAMASSA COM E SEM ADIÇÃO DE CCCB.	90
FIGURA 35 - ÍNDICE DE VAZIOS EM ARGAMASSA COM E SEM ADIÇÃO DE CCCB.	90
FIGURA 36 - MASSA ESPECÍFICA PARA O ESTADO ENDURECIDO DE ARGAMASSAS COM E SEM ADIÇÃO DE CCCB.	91
FIGURA 37 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DE ARGAMASSAS COM E SEM ADIÇÃO DE CCCB, APÓS 10 MINUTOS.	92
FIGURA 38 - ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE DE ARGAMASSAS COM E SEM ADIÇÃO DE CCCB, APÓS 90 MINUTOS.	92
FIGURA 39 - COEFICIENTE DE CAPILARIDADE DE ARGAMASSAS COM E SEM ADIÇÃO DE CCCB.	93

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CLÍNQUER DE CIMENTO PORTLAND.	22
TABELA 2 - COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DO CLÍNQUER DE CIMENTO PORTLAND FONTE:	22
TABELA 3 – LIMITES DA DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO.	28
TABELA 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS POZOLANAS QUANTO ÀS EXIGÊNCIAS QUÍMICAS.	32
TABELA 5 - CLASSIFICAÇÃO DAS POZOLANAS QUANTO ÀS EXIGÊNCIAS FÍSICAS.	33
TABELA 6 - FATORES QUE INFLUENCIAM A CONSISTÊNCIA E PLASTICIDADE.	38
TABELA 7 - CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS QUANTO À DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO.	40
TABELA 8 - NÍVEL DE EXIGÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.	41
TABELA 9 - CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS COMPACTADOS NO LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS	53
TABELA 10 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO CIMENTO.	55
TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CIMENTO.	55
TABELA 12 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA AREIA	57
TABELA 13 - CONVERSÃO DO TRAÇO 1:2,88:5,17 DE VOLUME PARA MASSA	79
TABELA 14 - TRAÇO PARA A ARGAMASSA DE REFERÊNCIA.	79
TABELA 15 - % DE ADIÇÃO DE CCCB EM RELAÇÃO À MASSA DO CIMENTO.	80
TABELA 16 - CLASSIFICAÇÃO DA RETENÇÃO DE ÁGUA SEGUNDO A NBR 13281.	82
TABELA 17 - CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS SEGUNDO A DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO SEGUNDO NBR 13281.	83
TABELA 18 - CLASSIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO SEGUNDO A NBR 13281 (2005).	86
TABELA 19 - CLASSIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SEGUNDO A NBR 13281 (2005).	87
TABELA 20 - CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS SEGUNDO A DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO SEGUNDO NBR 13281.	89
TABELA 21 - CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS SEGUNDO O COEFICIENTE DE CAPILARIDADE SEGUNDO A NBR 13281 (ABNT, 2005).	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
APL	Arranjo Produtivo Local
CCCB	Cinza de casca de coco de babaçu
CCCV	Cinza de casca de coco verde
CH	Representação genérica do hidróxido de cálcio
C-S-H	Representação genérica dos silicatos de cálcio Hidratados
CSTC	Centre Scientifique et Technique de la Construction
DRX	Difração de Raios-X
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FRX	Fluorescência de Raios-X
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
ITEP	Instituto Tecnológico de Pesquisa de Pernambuco
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NBR	Norma Brasileira Registrada
NIT	Notes d'information Techniques
NO _x	Óxido de Nitrogênio
PCS	Poder Calorífico Superior
pH	Potencial Hidrogênionico
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	
RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	
SUMÁRIO	13
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 HISTÓRICO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA	17
1.2 OBJETIVOS	18
1.2.1 OBJETIVO GERAL	18
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 ARGAMASSAS	19
2.1.1 DEFINIÇÃO	19
2.1.2 COMPOSIÇÃO	19
2.1.3 REVESTIMENTO DE ARGAMASSA	36
2.1.4 PROPRIEDADE DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	37
2.1.5 PROPRIEDADE DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	41
2.2 BABAÇU	45
2.2.1 COMPOSIÇÃO DO COCO DE BABAÇU	47
2.2.2 PRINCIPAIS REGIÕES PRODUTORAS	48
2.2.3 PROCESSAMENTO DO COCO DE BABAÇU	49
2.3 BRIQUETE	50
2.3.1 BREVE HISTÓRICO	50
2.3.2 DEFINIÇÃO	50
2.3.3 PRINCIPAIS BENEFÍCIOS DE UTILIZAÇÃO	51
2.3.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DOS BRIQUETES	52
2.3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS COMPACTADOS	52
3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	54
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	55

3.1.1	CIMENTO	55
3.1.2	CAL	56
3.1.3	ÁGUA DE AMASSAMENTO	56
3.1.4	AGREGADO MIÚDO	56
3.1.5	CINZAS	57
3.2	PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS	60
3.2.1	DESENVOLVIMENTO DE FORMULAÇÕES	60
3.2.2	PREPARO DAS ARGAMASSAS	61
3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	62
3.3.1	CONSISTÊNCIA	62
3.3.2	RETENÇÃO DE ÁGUA	63
3.3.3	DENSIDADE DE MASSA	65
3.3.4	AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS EM OBRA	66
3.4	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	67
3.4.1	MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA	68
3.4.2	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E A TRAÇÃO NA FLEXÃO	68
3.4.3	DENSIDADE DE MASSA	71
3.4.4	ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICES DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA.	71
3.4.5	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE E COEFICIENTE DE CAPILARIDADE	74
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4.1	CINZAS	78
4.1.1	ANÁLISE QUÍMICA	78
4.1.2	DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DAS CINZAS	78
4.2	PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS	78
4.2.1	DESENVOLVIMENTO DE FORMULAÇÕES	78
4.3	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	79
4.3.1	CONSISTÊNCIA	79
4.3.2	RETENÇÃO DE ÁGUA	81
4.3.3	DENSIDADE DE MASSA	82
4.3.4	AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO	83
4.4	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO	85
4.4.1	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E A TRAÇÃO NA FLEXÃO	85
4.4.2	DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO	88
4.4.3	ABSORÇÃO DE ÁGUA, ÍNDICES DE VAZIOS E MASSA ESPECÍFICA	89

4.4.4	ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE E COEFICIENTE DE CAPILARIDADE	91
5	CONCLUSÕES	94
6	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	95
	REFERÊNCIAS	96

1 INTRODUÇÃO

Situado no agreste do estado de Pernambuco, o Pólo de Confecções atua como um dos segmentos industriais de maior importância econômica para a região, utilizando lenha, geralmente de algaroba, como combustível para aquecer a água de suas caldeiras no processo de tingimento do jeans. Outro representativo uso regional da lenha de algaroba é proveniente da indústria de cerâmica vermelha e de pontos comerciais tais como pizzarias, padarias, dentre outros, que também utilizam lenha como fonte combustível para seus fornos. No entanto, essa matriz energética pode caminhar a favor da sustentabilidade, utilizando briquetes como alternativa a lenha de algaroba.

O briquete é um bloco cilíndrico compacto de alta densidade, composto por resíduos florestais e industriais, também conhecido como “lenha ecológica”, dentre a gama resíduos utilizados para a briquetagem destacam-se a casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar e a casca de coco de babaçu. No caso do briquete de casca de coco de babaçu, um fruto muito comum no Maranhão, Piauí, Pará, Mato Grosso e Tocantins, as cascas secas e compactadas são utilizadas como biomassa resultando em um produto de excelente potencial calorífico.

Os materiais de base cimentícia são bastante favoráveis e reportados na literatura vigente como encapsuladores de resíduos, seja com fins de inertização/solidificação de materiais perigosos, seja como disposição de passivos ambientais. Adicionalmente, esses materiais ainda podem trazer benefícios para o sistema, dentre eles destaca-se a possibilidade de desenvolvimento de atividade pozolânica e/ou o efeito *filler* (METHA; MONTEIRO, 2008). As cinzas agroindustriais são comumente reportadas na literatura como geradoras desses efeitos, a depender da temperatura e/ou do tempo de queima (METHA; MONTEIRO, 2008; TAYLOR, 1990).

A atividade pozolânica ocorre quando a suposta substância pozolânica é capaz de reagir com o hidróxido de cálcio livre, formando mais C-S-H, composto de interesse em termos de resistência e compacidade do sistema. Já o efeito *filler* é um efeito de preenchimento dos poros e entre as fases cristalinas do sistema hidratado, devido à granulometria da partícula ser menor que a do cimento (METHA; MONTEIRO, 2008; TAYLOR, 1990).

Dentre os vários elementos da construção civil de base cimentícia, a argamassa de revestimento será o objeto de estudo, já que a mesma apresenta um grande potencial para absorção de resíduos por não precisar ter uma alta resistência estrutural, necessitando basicamente ser pouco permeável e porosa. O efeito *filler* é ideal nesse aspecto, porque as

cinzas apresentam granulometria mais fina e preenchem melhor os poros do material cimentício.

1.1 Histórico e Contextualização do Problema

No contexto atual, não foram encontradas pesquisas relacionadas especificamente ao uso da cinza residual do briquete de casca de coco de Babaçu para produção de argamassas de revestimento ou outros materiais de base cimentícia, o que torna o presente trabalho por si só algo inovador e justificado.

Salienta-se que existem estudos similares realizados com cinzas de cascas de coco verde (CCCV) adicionando porcentagens de 5, 10 e 15 de CCCV (% massa de cimento) em argamassas de traço 1:3:0,5 (cimento:areia:água, em massa). Os resultados mostraram que a utilização da CCCV em produtos à base de cimento Portland não apresentou potencialidade como pozolana, tão pouco como *filler* (MILANI; SANTOS, 2009). No entanto, é importante mencionar que as cinzas são de produtos e origens diferentes; além disso, vale salientar que as cinzas utilizadas nesse trabalho não são provenientes de cascas no estado normal e sim de cascas comprimidas (briquete) e provavelmente o comportamento resultante será diferenciado.

O sucesso do trabalho será positivo do ponto de vista ambiental, uma vez que não se terá disposição e redistribuição de resíduos, de forma que nem se estará dispondo a casca, nem a cinza do briquete. Do ponto de vista industrial, poder-se-á utilizar os resíduos gerados nas lavanderias, olarias, pizzarias ou padarias da região. Salienta-se que existe um fornecedor de briquetes de casca de coco de Babaçu em Caruaru, justificando sua demanda. Além disso, espera-se que não haja perdas nas propriedades no estado endurecido do material cimentício, inclusive, podendo se ter benefícios em termos de efeito *filler* e/ou atividade pozolânica.

Assim, agregar-se-á valor ao resíduo, inclusive, contribuindo para a disseminação da substituição da lenha de algaroba por briquetes no Arranjo Produtivo Local de Confecções Pernambucano, tendo em vista que os mesmos são mais ecologicamente corretos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo geral verificar as propriedades de cinzas de casca de coco de babaçu queimadas em condições similares às praticas da região, em termos de temperatura e tempo de queima nas caldeiras, de forma a avaliar a potencialidade da reutilização desse resíduo em materiais cimentícios. Caso verifique-se a potencialidade de atividade pozolânica, propõe-se substituir parcialmente o cimento Portland na fabricação de argamassas de revestimento; em caso contrário, o estudo será balizado em analisar os efeitos da substituição de parte dos agregados (areia) pelas cinzas em questão ou sua incorporação ao sistema como carga, fazendo uso do efeito *filler*.

1.2.2 Objetivo específico

- Caracterizar, em termos físico-químicos e pozolânicos, as cinzas de casca de coco de babaçu compressado (briquete) produzidas durante a fase experimental;
- Avaliar a influência da adição das cinzas nas propriedades das argamassas de revestimento, no estado fresco e endurecido, comparativamente a uma argamassa de referência (sem adições);
- Caracterização microestrutural dos compósitos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Argamassas

2.1.1 Definição

Argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais (ISAIA, 2007). Os principais aglomerantes presentes nas argamassas são principalmente o cimento e a cal, e em alguns casos pode também ser utilizado o pó de gesso como material aglomerante.

Segundo a NBR 13529 (ABNT, 1995) classifica como argamassa de cal aquela preparada utilizando a cal como único aglomerante, argamassa de cimento utiliza o cimento como único aglomerante, e argamassa de cimento e cal utiliza ambos aglomerantes citados para sua preparação.

As aplicações das argamassas estão diretamente ligadas à quantidade de aglomerantes empregados, a granulométrica da areia e a quantidade de água adicionada. Na construção civil, as argamassas são utilizadas para assentamento de alvenarias, revestimento de alvenarias (chapisco, emboço e reboco), revestimento de pisos (contrapisos), assentamento de revestimentos diversos (cerâmicas, rochas, etc.), além de outros (RIBEIRO, 2002 apud SIQUEIRA 2011). Assim, a utilização da argamassa na construção civil atende tanto à proteção físico/mecânica de componentes quanto à aderência de elementos.

A argamassa deve ter custo reduzido, plasticidade, aderência, retenção de água, homogeneidade, compacidade, resistência à infiltração, à tração e à compressão e durabilidade. Cada tipo de emprego exige diferentes características e propriedades que podem ser melhoradas com a inclusão de minerais e aditivos químicos (SCANDOLARA, 2010).

2.1.2 Composição

2.1.2.1 Aglomerantes

Aglomerante é o material ativo, ligante, em geral pulverulento, cuja principal função é formar uma pasta que promove a união entre os grãos do agregado. São utilizados na

obtenção das argamassas e concretos, na forma da própria pasta e também na confecção de natas. Pastas são misturas de aglomerante com água, pouco usadas devido aos efeitos secundários causados pela retração, e as natas são pastas preparadas com excesso de água utilizadas geralmente para obtenção de superfícies lisas (UFRJ, 2000). Os aglomerantes podem ser classificados, quanto ao seu princípio ativo, em:

- Aéreos: são os aglomerantes que endurecem pela ação química do CO₂ no ar, como por exemplo, a cal aérea;
- Hidráulicos: São os aglomerantes que endurecem pela ação exclusiva da água, como por exemplo, a cal hidráulica, o cimento Portland, etc. Este fenômeno recebe o nome de hidratação;
- Poliméricos: são os aglomerantes que tem reação devido à polimerização de uma matriz.

Na produção das argamassas de revestimento, tema de análise deste trabalho, os principais aglomerantes são o cimento e a cal, ambos serão melhor definidos ao decorrer da seção.

2.1.2.1.1 Cimento Portland

2.1.2.1.1.1 Histórico

A origem do cimento data há cerca de 4500 anos, os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída de mistura contendo gesso calcinado. Grandes obras romanas como o Panteão de Adriano e o Coliseu foram construídas usando uma tecnologia que empregava solo de origem vulcânica triturado que possuía a capacidade de endurecimento sob a ação da água (ABCP, 2012).

Avançando a linha do tempo e trazendo o tema para o contexto um pouco mais moderno, o engenheiro John Smeaton, por volta de 1756, procurava um aglomerante que endurecesse mesmo em presença de água, de modo a facilitar o trabalho de reconstrução do farol de Edystone, na Inglaterra. Em suas tentativas, verificou que uma mistura calcinada de calcário e argila tornava-se, depois de seca, tão resistente quanto as pedras utilizadas nas construções. Entretanto, coube ao pedreiro Joseph Aspdin, em 1824, patentear a descoberta, batizando-a de cimento Portland, numa referência à Portlandstone, tipo de pedra arenosa

muito usada em construções na região de Portland, Inglaterra. No pedido de patente constava que o calcário era moído com argila, em meio úmido, até se transformar em pó. A água era evaporada pela exposição ao sol ou por irradiação de calor através de cano com vapor. Os blocos da mistura seca eram calcinados em fornos e depois moídos bem finos. (TAYLOR, 1967 apud SILVA 2006).

2.1.2.1.1.2 Composição do Cimento Portland

O Cimento Portland é um produto de origem mineral, resultante da calcinação de uma mistura de calcários e argilas. A mistura calcinada “clínquer”, constituída essencialmente de silicatos hidráulicos de cálcio, é moída com uma pequena porcentagem de gipsita, que modifica suas propriedades resultantes no produto final (GUIMARÃES, 1997).

Para fabricação do clínquer, a rocha calcária é primeiramente britada, depois moída e em seguida misturada, em proporções adequadas, com argila moída. A mistura formada atravessa então um forno giratório de grande diâmetro e comprimento, cuja temperatura interna chega a alcançar 1450°C onde ocorre fusão parcial e nódulos de clínquer são produzidos (Figura 1). Na saída do forno o clínquer, ainda incandescente, é bruscamente resfriado para posteriormente ser finamente moído, transformando-se em pó. O clínquer em pó tem a peculiaridade de desenvolver uma reação química em presença de água, na qual ele, primeiramente, torna-se pastoso e, em seguida, endurece, adquirindo elevada resistência e durabilidade (ABCP, 2002).

Figura 1 - Nódulos de clínquer de cimento Portland



Fonte: (BLOGDOCUMENTO, 2012).

Existe a adição de outras matérias-primas que na fase de moagem permitem a fabricação de diversos tipos de cimento, essas outras matérias-primas são sulfato de cálcio (CaSO_4), conhecido como gipsita, as escórias de alto-forno, que é um resíduo da produção de ferro gusa, além dos materiais pozolânicos e os materiais carbonáticos, que são minerais moídos e calcinados.

Tabela 1 - Composição química do clínquer de cimento Portland.

	Fórmula	Composição (%)
Óxido de Cálcio	CaO	59 – 67
Sílica	SiO_2	16 – 26
Alumina	Al_2O_3	4 – 8
Hematita	Fe_2O_3	2 – 5
Magnésia	MgO	0,8 – 6,5
Óxido de Sódio	Na_2O	0 – 1,5
Óxido de Potássio	K_2O	0 – 1,5
Trióxido de Enxofre	SO_3	0,5 – 1,2

Fonte: (ALMEIDA E KATTTAR, 1997 apud MAGALHAES, 2007).

Conforme visto na Tabela 1, as matérias primas utilizadas para fabricação do clínquer de cimento Portland consistem principalmente de óxido de cálcio, sílica, alumina e óxido de ferro, a combinação destes compostos durante a fusão e resfriamento formará uma série de produtos mais complexos, tais como silicatos e aluminatos. A Tabela 2 apresenta a composição mineralógica do clínquer de cimento Portland.

Tabela 2 - Composição mineralógica do clínquer de cimento Portland Fonte:

Nome dos compostos	Composição	Abreviatura	% no Clínquer
Silicato tricálcio (Belita)	$3\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_3S	50-65
Silicato dicálcio (Alita)	$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$	C_2S	15-25
Aluminato tricálcio (Celita)	$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	6-10
Ferro aluminato tetracálcio (Ferrita)	$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	3-8

Fonte: (ALMEIDA E KATTTAR, 1997 apud MAGALHAES, 2007).

A seguir, serão apresentadas as características das principais fases mineralógicas presentes no cimento Portland:

Silicato Tricálcico (C_3S): Também chamado de alita, é o principal constituinte do clínquer e constitui cerca de 50 – 65% de sua massa. Reage relativamente rápido com a água sendo sua velocidade de hidratação controlada pela velocidade de difusão dos íons através das camadas sobrejacentes do produto hidratado. Libera grande quantidade de hidróxido de cálcio e possui alto calor de hidratação (120 cal/g). É o principal componente para o desenvolvimento da resistência de curto prazo, principalmente aos 28 dias (TAYLOR, 1992 apud MAGALHAES, 2007).

Silicato dicálcico (C_2S): Também chamado de belita, constitui de 15 - 25% do clínquer. Reage lentamente com a água e contribui para a resistência nas idades avançadas, principalmente ao fim de um ano ou mais. Em comparação à alita, desprende menor calor de hidratação e libera, também, menor quantidade de cal por ocasião da hidratação (TAYLOR, 1992 apud MAGALHAES, 2007).

Fase Intersticial do clínquer: É originada da cristalização, durante o resfriamento da fase líquida, e tem um importante papel no processo de clínquerização; quer físico-químico, favorecendo e acelerando as reações de formação dos silicatos, quer físico-mecânico, regendo o mecanismo da granulação do clínquer e influenciando na formação de anéis no forno de cimento. A fase intersticial é formada essencialmente por C_3A e C_4AF (MAGALHAES, 2007).

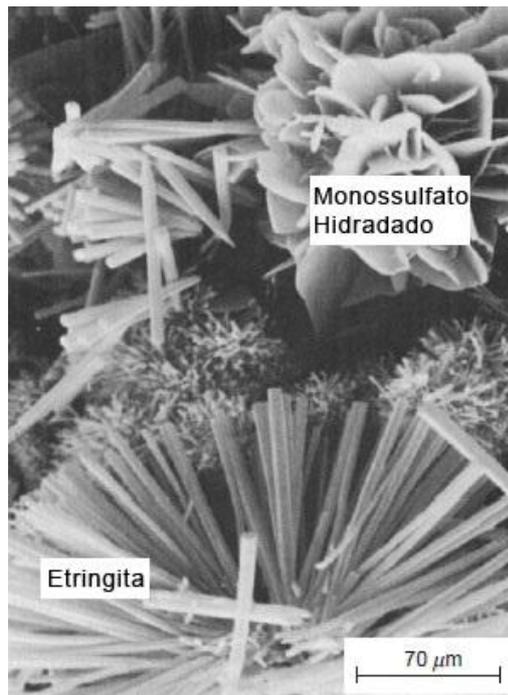
Aluminato Tricálcico (C_3A): constitui cerca de 4 – 8% do clínquer de cimento Portland e reage rapidamente com a água e liberando uma grande quantidade de calor de hidratação (270 cal/g) sendo o principal responsável pela rapidez da pega (TAYLOR, 1992 apud MAGALHAES, 2007).

2.1.2.1.1.3 Hidratação do cimento Portland

O termo hidratação refere-se às reações do cimento com a água que ocorrem com o transcorrer do tempo, dando origem a uma matriz firme e resistente onde o enrijecimento da pasta é caracterizado pela hidratação dos aluminatos e a evolução da resistência é realizada pelos silicatos. Porém, os compostos não hidratam à mesma velocidade, os aluminatos hidratam muito mais rapidamente do que os silicatos (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Hidratação dos Aluminatos: A reação do C_3A com água é imediata, por isto há a necessidade da adição de $CaSO_4$ (gipsita) para retardar a reação. A hidratação dos aluminatos na presença de sulfato resulta na etringita ($C_6AS_3H_{32}$) que assumem formas aciculares e em monossulfatos hidratados com a forma placas hexagonais delgadas (Figura 2) ocupando cerca de 15 a 20% do volume de sólidos da pasta. A formação das agulhas de etringita começa minutos após o início da hidratação, sendo responsáveis pelo fenômeno da pega e desenvolvimento da resistência inicial. Após alguns dias a etringita pode tornar-se instável e decompor-se para formar o monossulfato hidratado, que é uma forma mais estável (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Figura 2 - Micrografia eletrônica de varredura de cristais hexagonais típicos de monossulfato hidratado e cristais aciculares de etringita formados pela mistura de soluções de aluminato de cálcio e de sulfato de cálcio.



Fonte:(MEHTA e MONTEIRO, 1994).

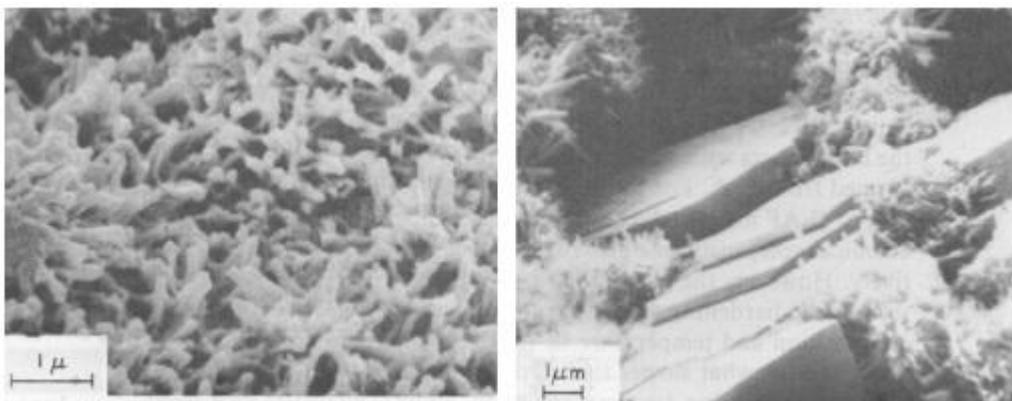
Hidratação dos silicatos: Se da algumas horas após o início da hidratação do cimento, a hidratação do C_3S e do C_2S origina silicatos de cálcio hidratados que possuem composição química variada, sendo genericamente representados por C-S-H, e hidróxido de cálcio $Ca(OH)_2$, genericamente representado por CH, compostos estes que preenchem o espaço

ocupado pela água e pelas partículas do cimento em dissolução. Segundo (METHA E MONTEIRO, 1994) sua formação pode ser representada pelas equações Eq.(1) e Eq.(2):



A fase silicato de cálcio hidratado (C-S-H, Figura 3 - Micrografia eletrônica de varredura de uma pasta de cimento Portland com 3 dias de idade mostrando os cristais de C-S-H(a) e os grandes cristais de $Ca(OH)_2$ (b).a), constitui cerca de 50 a 60% do volume de sólidos de uma pasta de cimento Portland completamente hidratado, sendo responsável pela alta resistência mecânica à compressão da mesma. O $Ca(OH)_2$ (Figura 3 - Micrografia eletrônica de varredura de uma pasta de cimento Portland com 3 dias de idade mostrando os cristais de C-S-H(a) e os grandes cristais de $Ca(OH)_2$ (b).b) ocupa cerca de 20 a 25% do volume de sólidos da pasta, ao contrário do C-S-H, não contribui potencialmente para a resistência mecânica da pasta endurecida. Além disso, a presença de uma quantidade considerável destes cristais no cimento Portland tem um efeito desfavorável sobre a resistência química a soluções ácidas, em razão da sua alta solubilidade. (MEHTA E MONTEIRO, 1994).

Figura 3 - Micrografia eletrônica de varredura de uma pasta de cimento Portland com 3 dias de idade mostrando os cristais de C-S-H(a) e os grandes cristais de $Ca(OH)_2$ (b).



(a)

(b)

Fonte:(MEHTA e MONTEIRO, 1994).

No processo ainda existem os vazios, que são estruturas de poros desenvolvidas durante a hidratação e são influenciadas pela relação água/cimento, a resistência mecânica da pasta está fortemente relacionada com a sua porosidade, pois somente os elementos sólidos resistem a esforços. A porosidade da pasta de cimento hidratada distribui-se da seguinte forma (MEHTA e MONTEIRO, 1994):

- Poros de gel ou entre camadas de C-S-H: Possuem diâmetros em torno de 1 a 3 nm que não influenciam na resistência da pasta, pois são muito pequenos para iniciar trincas sob baixos esforços;
- Vazios capilares: representam o espaço não preenchido pelos componentes sólidos da hidratação do cimento podendo chegar a ter alguns milímetros de largura. O volume total, e principalmente, a distribuição do tamanho deste tipo poro afeta a resistência da pasta, pois seu comprimento é suficiente para iniciar fissuras. Poros capilares de pequeno diâmetro (< 50 nm) são descritos como pouco prejudiciais ao comportamento mecânico;
- Poros de ar incorporado: possuem forma esférica, com dimensões superiores aos vazios capilares, devido a suas grandes dimensões reduzem bastante a resistência e aumentam a permeabilidade.

2.1.2.1.2 Cal

A cal é um produto obtido pela queima de rochas calcárias, que podem ser: calcíticas (alto teor de carbonato de sódio), dolomíticas (carbonato de cálcio e de magnésio) e magnesianas (carbonato de cálcio e de magnésio, sendo que este último em menor teor do que nas dolomíticas). As cales magnesianas são mais voltadas para o uso em construção civil e as calcíticas para o uso industrial, mas também podem ser utilizadas na construção civil. (BASICAL, 2012).

A calcinação dos calcáreos (CaCO_3) ou dolomitos ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), através da reação química de decomposição térmica dá origem à cal virgem, que por sua vez, ao ser hidratada forma a cal hidratada (CINCOTTO, 1989 apud MONTAGNER 2006).

A cal hidratada é um pó seco e inodoro que apresenta partículas muito finas, ao serem misturadas com água, funcionam como verdadeiro lubrificante, reduzindo o atrito entre os grãos de areia. O resultado é melhor trabalhabilidade (ou liga), boa aderência e maior rendimento na mão-de-obra. (MINASCAL, 2012). Em relação à cal virgem, a cal hidratada oferece algumas vantagens, entre elas a maior facilidade de manuseio, transporte e armazenamento. É um produto pronto para ser utilizado, eliminando em canteiro a operação de extinção e de envelhecimento. Sendo um produto seco e pulverulento, oferece maior facilidade de mistura na elaboração das argamassas do que a pasta de cal resultante da cal virgem (BAUER 2000, apud SANTOS 2008).

De acordo com (PEZENTE, 2004 apud HOLSBACH, 2004), a cal hidratada é classificada de acordo com sua composição química em CH-I, CH-II e CH-III.

- CH-I Quando constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, com teor de gás carbônico igual ou menor que 5%.
- CH-II Quando constituída essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio, e óxido de magnésio, com teor de gás carbônico igual ou menor que 5%, sem limites para os teores de óxidos não hidratados.
- CH-III Quando constituída essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio, com teor de gás carbônico igual ou menor que 13%.

Argamassas que possuem cal hidratada como constituinte apresentam boa resistência a compressão, tanto para assentamentos como para revestimentos, e também baixo módulo de elasticidade, ou seja, absorvem melhor as pequenas movimentações das construções, evitando trincas, fissuras e até o descolamento dos revestimentos (BEZERRA, 2010).

2.1.2.2 Areia

Areia ou agregado, componente das argamassas, pode ser definida como um material granular, sem forma e volume definidos geralmente inerte, com dimensões, características e propriedade adequadas ao uso da engenharia civil (PETRUCCI, 1981). As areias podem ser classificadas como natural ou artificial. A natural é obtida através da exploração de jazidas naturais ou retirada dos leitos de rios através de dragagem. As artificiais são obtidas através

de processos industriais como a britagem de rochas, e por serem consideradas areias puras possuem um custo mais elevado.

A areia deve ser isenta de substâncias nocivas que prejudiquem as reações e o endurecimento, nas areias naturais podem ser encontradas partículas de argila e silte (material pulverulento), húmus (impurezas orgânicas), torrões de argila, gravetos, micas, sais, etc. Já nas areias artificiais há elevado teor de material pulverulento que exige maior quantidade de água e reduz a aderência da pasta de cimento (SILVA 1991, apud SANTOS, 2008).

A NBR 7211 (ABNT, 2009) classifica como agregado miúdo as areias cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm, ressalvando os limites estabelecidos na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo.

Peneira com abertura de malha	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona utilizável	Zona ótima
9,5mm	0	0	0	0
6,3mm	0	0	0	7
4,75mm	0	0	5	10
2,36mm	0	10	20	25
1,18mm	5	20	30	50
600µm	15	35	55	70
300µm	50	65	85	95
150µm	85	90	95	100

Fonte: (ABNT,2009).

NOTA 1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90

NOTA 2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20

NOTA 3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50

Os agregados miúdos nas argamassas desempenham, além da função tecnológica, função econômica, por serem mais baratos que os aglomerantes, diminuindo assim o custo do material. Desta forma, torna-se economicamente interessante introduzir uma alta proporção de

areia na mistura. Entretanto, essa proporção limite deve ser determinada em função das propriedades exigidas para a argamassa (POSSER, 2004).

A quantidade de água utilizada em uma mistura e a acomodação das partículas (empacotamento) são influenciados diretamente pelas características do agregado miúdo utilizado. A finura do material é diretamente proporcional a quantidade de água utilizada, dessa forma, quanto mais fina o agregado miúdo maior deve ser a quantidade de água necessária para obter a trabalhabilidade adequada (BEZERRA, 2010).

2.1.2.3 Água de Amassamento

Água de amassamento é a água usada na confecção da argamassa, a água tem duas funções principais nas argamassas. A primeira é a função de combinar quimicamente com os aglomerantes presentes, possibilitando seu endurecimento e ganho de resistência, enquanto que a segunda função refere-se em conferir trabalhabilidade à mistura (MATTOS, 2001).

De acordo com (PETRUCCI, 1998 apud MONTAGNER 2006), é importante impor cuidados com a água utilizada no amassamento da argamassa, para que não contenha impurezas que possam prejudicar as reações entre ela e os compostos do cimento e que não haja, neste processo, a renovação de agentes agressivos à argamassa. Além disso, é importante também salientar que a água utilizada na preparação da argamassa não pode conter matéria orgânica e colóides em suspensão.

A água destinada ao amassamento da argamassa deve ser armazenada em caixas estanques e protegidas a fim de evitar a contaminação por substâncias estranhas. Caso exista alguma dúvida sobre a qualidade da água, ou quando for constatada qualquer contaminação, amostras devem ser coletadas para análise. Em geral considera-se que toda água potável é apropriada para uso em argamassa (BEZERRA, 2010).

2.1.2.4 Aditivos

Aditivos de argamassas e concretos se definem como sendo materiais diferentes de cimento, areia, pedra e água, que se adicionam em pequenas proporções às argamassas e aos concretos durante sua preparação, com a finalidade de melhorar suas propriedades (TEXSA, 2012). Em outra definição exposta por (NEVILLE, 1997), aditivos, são materiais adicionados

durante o preparo da argamassa ou concreto em proporções que não ultrapasse, exceto em casos especiais, 5% do peso de cimento contido no traço, obtendo modificações específicas ou modificação de suas propriedades.

Importante salientar que os aditivos não atuam apenas no aglomerante, mas sobre os demais componentes, agregado e água, dessa forma também exercendo influencia sobre a dosagem dos mesmos. Os aditivos são utilizados para reforçar ou modificar determinadas propriedades do material no estado fresco ou depois de endurecido, atribuindo melhor trabalhabilidade, incrementar características mecânicas, melhorar resistência aos ataques físicos e químicos ou torná-lo mais econômico (TARTUCE e GIOVANNETTI, 1999)

Os aditivos normalmente usados em argamassas de revestimento são os aditivos aerantes (confere melhor trabalhabilidade a argamassa) e os aditivos hidrófugos (utilizado para reduzir a permeabilidade da argamassa depois de endurecida).

2.1.2.5 Adições Minerais

Adição mineral é um material inorgânico finamente dividido, adicionado ao cimento com a finalidade de modificar suas propriedades. Segundo (SILVA, 2007), estas adições minerais podem ser divididas em três categorias;

- Materiais cimentícios;
- Materiais pozolânicos;
- Materiais não reativos.

A escória de alto-forno, obtida a partir do processo para eliminação de impurezas durante a produção de ferro-gusa, pertence à categoria de materiais cimentícios. Como materiais pozolânicos, se destacam a sílica ativa, pozolana de alta reatividade que é subproduto resultante do processo de obtenção do ferro silício e silício metálico, o metacaulim, também pozolana de alta reatividade derivada da calcinação de argilas caulínicas, ou ainda a cinza volante produzida a partir da queima de carvão mineral para produção de energia nas termelétricas e por último a cinza de casca de arroz produzida pela nas indústrias de arroz ou usinas termelétricas. Na categoria de materiais não reativos existe como exemplo o *filler* calcário, produto obtido através da moagem fina de calcário, basálto ou materiais carbontáticos.

Desta forma, aditivos minerais podem ser definidos como materiais utilizados conjuntamente com o cimento Portland com o objetivo de proporcionar um desempenho tecnológico diferenciado a produtos cimentícios. Em alguns casos, podendo haver inclusive redução dos custos de produção em função da substituição de uma parcela de clínquer por materiais energeticamente menos nobres, uma vez que os aditivos minerais são obtidos normalmente a partir de resíduos industriais ou agroindustriais. Além dos benefícios tecnológicos e econômicos em alguns casos, o uso de aditivos minerais pode reduzir impactos ambientais, tendo em vista o aproveitamento de resíduos, a preservação das jazidas de calcário e argila e a menor emissão de CO₂ e outros gases intensificadores do efeito estufa (CO, CH₄, NO_x, NO₂ e SO₂), gerados durante a fabricação do cimento Portland (CORDEIRO, 2006).

Diversas pesquisas demonstram a possibilidade de associações de diferentes adições minerais, em diversas combinações e teores variados, criando misturas de cimento com um ou dois tipos de adição, as quais são denominadas binárias e ternárias, respectivamente, de maneira que estas adições podem ser incorporadas por diferentes métodos, incluindo a substituição parcial em massa de cimento, a inclusão como um aumento da quantidade de aglomerante ou adicionadas como agregado miúdo (MORAES, 2001).

Esses diferentes métodos de incorporação tornam-se possíveis, pois as adições minerais, em particular os pozolânicos, apresentam uma reação que resulta na produção de C-S-H adicional pela combinação da sílica presente nas pozolanas com hidróxido de cálcio liberado durante as fases de hidratação do cimento, essa capacidade da pozolana reagir com hidróxido de cálcio é denominada atividade pozolânica. Existem ainda as partículas que não se combinam na reação pozolânica, que servem espaços para a nucleação de produtos hidratados e também ocupam os vazios diminuindo o tamanho dos poros e também em muitos casos diminuindo a porosidade total (DUART, 2008).

2.1.2.5.1 Atividade Pozolânica

A atividade pozolânica caracteriza-se pelo consumo do hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) residual pela adição de material pozolânico. (MEHTA; MONTEIRO 1994) define como materiais pozolânicos, aqueles silicosos ou sílico-aluminosos que possuem pouca ou nenhuma propriedade cimentante, mas quando finamente dividido e na presença de umidade, reage

quimicamente com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente para formar compostos com propriedades cimentantes. Complementando, (SILVA 2007) diz que os materiais pozolânicos, podem ser de origem natural, como cinza vulcânica e terra diatomácea, ou resultantes de algum processo industrial, como cinza volante, sílica ativa, cinza de casca de arroz, e argila calcinada. As pozolanas artificiais ainda podem ser obtidas através de tratamentos térmicos (calcinação) de materiais com constituição predominantemente siliciosa.

2.1.2.5.1.1 Classificação dos Materiais Pozolânicos

A NBR 12653 (ABNT, 1992) classifica os materiais pozolânicos, utilizando requisitos químicos e físicos, em três classes (Classe N, Classe C e Classe E). Onde;

- Classe N: Pozolanas naturais e artificiais que obedecem aos requisitos aplicáveis na citada norma, como certos materiais vulcânicos de caráter petrográfico ácido, “cherts” silicosos, terras diatomáceas e argilas calcinadas;
- Classe C: Cinza volante produzida pela queima de carvão mineral em usinas termoelétricas que obedece aos requisitos aplicáveis na citada norma;
- Classe E: Qualquer pozolana cujos requisitos diferem das classes anteriores, conforme estabelecido nesta NBR.

Os materiais pozolânicos devem estar em conformidade com as exigências químicas e físicas estabelecidas respectivamente nas Tabelas Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 - Classificação das pozolanas quanto às exigências Químicas.

Propriedades	Classes de Material Pozolânico		
	N	C	E
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , % mín.	70	70	50
SO ₃	4,0	5,0	5,0
Teor de umidade, % mín.	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo, % máx.	10,0	6,0	6,0
Álcalis disponíveis em Na ₂ O, % máx.	1,5	1,5	1,5

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 1992).

Tabela 5 - Classificação das pozolanas quanto às exigências Físicas.

Propriedades	Classes de Material Pozolânico		
	N	C	E
Material retido na peneira 45µm, % Max.	34	34	34
Índice de atividade pozolânica:			
Com cimento aos 28 dias em relação ao controle, % mín.	75	75	75
Com a Cal aos 7 dias, em MPa.	6,0	6,0	6,0
Água requerida, % máx.	115	110	110

Fonte: NBR 12653 (ABNT, 1992).

2.1.2.5.1.1 Reação Pozolânica

Os silicatos presentes na composição do cimento, quando hidratados produzem silicatos de cálcio hidratado (C-S-H) responsável pela resistência, e hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , que não possui características cimentícias. Dessa forma, segundo (NETTO, 2006), os materiais pozolânicos tem a característica principal de reagir e se combinar com o hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 formando silicatos e aluminatos de cálcio hidratados, que são compostos estáveis de poder aglomerante. (VIEIRA, 2005) representada essa reação de uma forma didaticamente simplificada através da Eq. Eq.(3).



Onde:

CH= hidróxido de cálcio, Ca(OH)_2 ;

H=Água;

C-S-H= Silicato de Cálcio Hidratado;

C-A-H=Aluminato de Cálcio Hidratado.

Complementando, (DUART, 2008) diz que o hidróxido de cálcio contribui muito pouco para a resistência da pasta de cimento hidratada e é, dentre os produtos da hidratação, o primeiro a ser solubilizado e lixiviado pela água, dessa forma, o seu consumo pela pozolana

traz vantagens como aumento da resistência mecânica e a aumento durabilidade de concretos e argamassas (DUART, 2008).

A aptidão dos materiais pozolânicos de reagir com o hidróxido de cálcio em condições normais de temperatura e pressão formando compostos de propriedades aglomerantes, reside no fato de o silício e o alumínio presentes na sua composição se encontrarem em estruturas amorfas ou desordenadas atômicamente. Dessa maneira, nem todos os materiais contendo sílica e alumina podem ser considerados pozolanas, como é o caso da sílica na forma de quartzo, que é totalmente inerte. A princípio, quanto maior for o desarranjo estrutural do material e a sua instabilidade em meio básico, mais intensamente se manifestará a reação pozolânica (FARIAS FILHO, 2000; TIAGO, 2011).

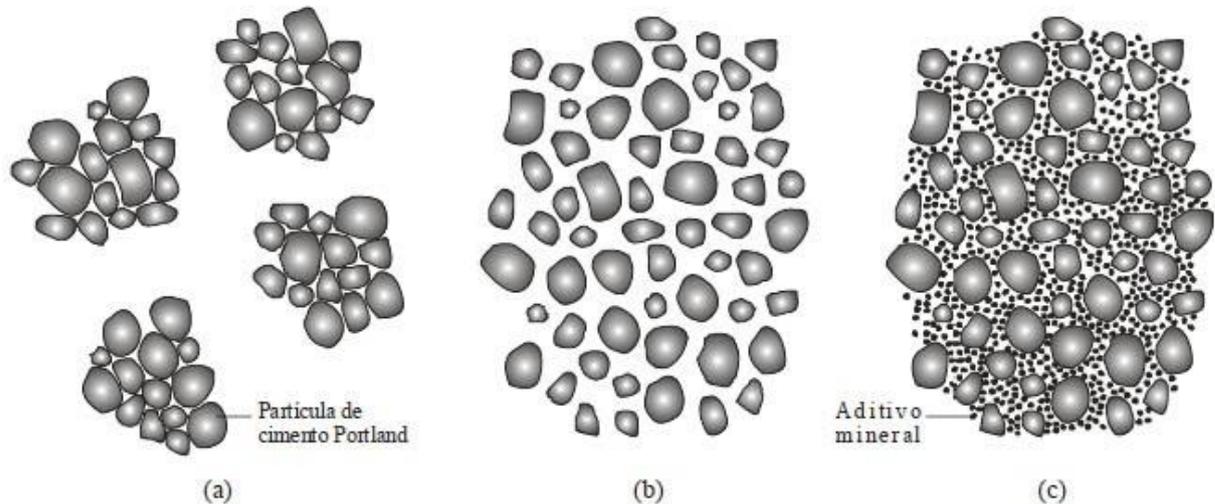
Dessa forma, a reação pozolânica se desencadeia porque a sílica e a alumina são vulneráveis ao hidróxido de cálcio, pela fraqueza e instabilidade de suas ligações estruturais no material original (MALQUORI, 1960 apud MONTANHEIRO, 2003).

A utilização de adições com características de materiais pozolânicos não fica restrita aos efeitos químicos que formam novos compostos de poder aglomerante, há ainda a parcela física da interação. Algumas situações como baixo índice de pozolanicidade, pouco teor de hidróxido de cálcio para reações pozolânicas ou ainda falta de água para hidratação devido às baixas relações água/aglomerante (a/ag), podem fazer com que as pozolanas não participem como formadores de C-S-H através das reações pozolânicas, mas sim como material de enchimento obturando os poros através do efeito físico conhecido como “efeito *filler*” (DUART, 2008).

2.1.2.5.2 Efeito *Filler*

O *filler* é uma adição mineral finamente dividida sem atividade química, cuja função se resume a um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação servindo como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento, por conseguinte, o efeito *filler* é consequência da maior compacidade conferida à mistura através da inclusão destas partículas de *filler*. O esquema apresentado na Figura 4 possibilita a visualização do efeito *filler*, através da ação conjunta de um aditivo mineral de elevada finura, um aditivo químico superplastificante, cimento Portland e água (BORJA, 2011; CORDEIRO, 2006).

Figura 4 - Representação esquemática de partículas de cimento Portland em pastas sem aditivos (a), com aditivo superplastificante (b), e com superplastificante e aditivo mineral de elevada finura (filler)(c).



Fonte:(CORDEIRO, 2006).

Na teoria, partículas muito finas de cimento Portland poderiam proporcionar o mesmo efeito físico apresentado pelas partículas de *filler*, porém elas dissolvem-se rapidamente quando em contato com a água, o que torna ineficiente o efeito de densificação da mistura (MALHOTRA & MEHTA, 1996 apud CORDEIRO, 2006). Assim, o *filler*, por apresentar comportamento menos reativo do que o cimento, ao ser disperso na pasta, promove inúmeros pontos de nucleação para precipitação dos produtos de hidratação ao redor de suas partículas, tornando a parta mais homogênea em termos de distribuição de poros finos (MORAES, 2001).

A formação dos pontos de nucleação se dá devido à pequena dimensão das partículas do *filler*. Como cita (TORRES, 2007), no mundo macroscópico, as forças gravitacional e de atrito são predominantes até as dimensões de cerca de um milímetro. Mas à medida que as dimensões dos corpos diminuem, as forças de atrito e gravitacional tornam-se de menor importância, enquanto novas forças, como a força eletrostática, ganham notoriedade. Em escala subatômica, a força de atração eletrostática entre dois prótons é cerca de 1036 vezes mais forte que a força gravitacional.

Desta forma, as partículas extremamente reduzidas do *filler* atraem para si as demais partículas presentes na mistura através da atração eletrostática, promovendo aumento da

superfície efetiva de contato com água e, conseqüentemente, aceleração das reações de hidratação dos compostos. Como a atividade cimentícia dos constituintes do clínquer é determinada por reações de superfície (topoquímicas), a área específica efetiva de contato com o meio aquoso desempenha um papel muito importante na cinética das reações químicas (CORDEIRO, 2006).

2.1.3 Revestimento de Argamassa

As alvenarias e os revestimentos argamassados são tecnologias construtivas que remontam seu uso desde a idade média, inicialmente as argamassas utilizadas no revestimento eram uma mistura rudimentar de cal e areia, porem com a invenção e desenvolvimento do cimento Portland as argamassas sofreram uma evolução. Com a adição desse produto, conseguiram ter sua resistência aumentada e a aderência às bases onde eram aplicadas muito melhorada, ainda nas primeiras idades (BANDUK, 2005).

Um edifício pode ser entendido como um conjunto de elementos básicos, tais como estrutura, vedação, sistemas prediais, etc., que cumprem funções específicas e contribuem para o comportamento final do conjunto. Seguindo essa perspectiva, segundo (SABBATINI, 1992), os revestimentos de argamassa têm as seguintes funções:

- Proteger a estrutura e as vedações contra a ação de agentes agressivos e, por consequência, evitar a degradação precoce, aumentando sua durabilidade e reduzindo os custos de manutenção;
- Auxiliar as vedações a cumprir suas funções, tais como: isolamento termoacústico, estanqueidade à água e aos gases e segurança ao fogo. Por exemplo, um revestimento externo normal de argamassa (30 a 40% da espessura da parede) pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e 100% responsável pela estanqueidade de uma vedação de alvenaria comum;
- Funções estéticas, de acabamento e aquelas relacionadas com a valorização da construção ou determinação do padrão do edifício.

Ainda de acordo com (SABBATINI, 1992), quando o revestimento de argamassa estiver associado a outros revestimentos, cerâmicas, azulejos, etc., ele tem também as funções

de um substrato. Dessa maneira, ele deve propiciar uma superfície uniforme, compatibilizar deformações diferenciais entre a base e o revestimento final e ser o suporte mecânico para este.

A NBR 13749(ABNT 1996) destaca que o revestimento de argamassa deve apresentar textura uniforme, sem imperfeições, tais como: cavidades, fissuras, manchas e eflorescências, devendo ser prevista na especificação do projeto, a aceitação e rejeição conforme níveis de tolerância admitidos.

As argamassas utilizadas na execução de revestimentos devem apresentar um conjunto de propriedades, que respeitando os limites normativos vigentes, permitem que as funções e características exigidas, por parte do revestimento, sejam desempenhadas com melhor eficiência. Essas propriedades são classificadas de acordo com o estado em que a argamassa se apresenta, seja ele fresco ou endurecido.

2.1.4 Propriedade das Argamassas no Estado Fresco

As principais propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco são: trabalhabilidade, retenção de água, densidade de massa, teor de ar incorporado, aderência inicial.

2.1.4.1 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é uma das mais importantes propriedades das argamassas no estado fresco, haja vista a sua obrigatoriedade para que possa ser convenientemente utilizada. Segundo (CARASEK, 2007), trabalhabilidade é propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea. A trabalhabilidade é uma propriedade complexa, resultante da conjunção de diversas outras propriedades, tais como:

- Consistência: É a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas;
- Plasticidade: É a propriedade pela qual a argamassa tende a conservar-se deformada após a retirada das tensões de deformação;

- Retenção de água e de consistência: É a capacidade de a argamassa fresca manter sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água;
- Coesão: Refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante;
- Exsudação: É a tendência de separação da água (pasta) da argamassa, de modo que a água sobe e os agregados descem pelo efeito da gravidade. Argamassas de consistência fluida apresentam maior tendência à exsudação;
- Densidade de Massa: Relação entre a massa e o volume de material;
- Adesão Inicial: União inicial da argamassa no estado fresco ao substrato.

A consistência e plasticidade são apontadas como as principais propriedades que determinam uma condição de trabalhabilidade das argamassas de revestimento. É certo que as duas propriedades são interligadas e, em determinados momentos, não podendo ser tratadas independentemente quando se analisa uma condição de trabalhabilidade, a Tabela 6 apresenta os principais fatores que influenciam estas propriedades.

Tabela 6 - Fatores que influenciam a consistência e plasticidade.

Fatores internos	Fatores externos
Teor de água muitas vezes definida em função da consistência necessária	Tipo de mistura
Proporção entre aglomerantes e agregado	Tipo de transporte
Natureza e teor dos plastificantes (cal, finos argilosos, etc.)	Tipo de aplicação no substrato
Distribuição granulométrica e forma e textura dos grãos do agregado	Operações de sarrafeamento e desempenho
Natureza e teor de aditivos	Características da base de aplicação – tipo de preparo, rugosidade, absorção, etc.

Fonte: (BAUER, 2005).

De um modo geral, percebe-se que a exigência de trabalhabilidade é, portanto, intuitiva de uma relação qualitativa difícil de avaliar, que busca subsídios em outras propriedades das argamassas. Acredita-se que o empirismo associado ao tema deveria ser descartado em favor de parâmetros físicos mensuráveis (BAUER, 2005).

Os principais ensaios utilizados para obter estes parâmetros físicos são mesa de consistência, o tronco de penetração, o *k-slump*, o vane test (ensaio de palheta) e o cone de escoamento. O ensaio da mesa de consistência é um dos mais utilizados para avaliar as propriedades das argamassas no estado fresco, a NBR 13276 (ABNT, 2005) define os procedimentos a serem seguidos para realização do ensaio, no qual a argamassa é moldada em um tronco de cone e submetida a uma série de golpes na mesa de consistência, o índice de consistência da argamassa corresponde a três medidas de diâmetro do cone abatido.

2.1.4.2 Retenção de Água

Retenção de água é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação seja pela absorção de água da base (CARASEK, 2007). Sem retenção adequada de água, além de não se manter plástica o tempo suficiente para seu manuseio adequado, terá menor resistência quando endurecida (devido a umidade da argamassa garantida por tempo insuficiente para as completas reações de hidratação do cimento e da cal) (CARVALHO JR, 2005)

A natureza e características das partículas finas têm grande importância na retenção de água da argamassa, uma vez que esta depende da capacidade de aprisionamento do líquido pelas partículas finas com elevada atividade de superfície (GOMES, 2005 Apud BRAGA, 2010). Segundo (PARSEKIAN; FURLAN JR., 2003 apud OLIVEIRA, 2009), aumentar a quantidade de cal em relação ao cimento é benéfico neste sentido, pois a cal possui maior superfície específica e apresenta uma alta capacidade de reter água, cedendo água para as reações aos poucos, mantendo a plasticidade inicial e conferindo resiliência no estado endurecido. O uso de material pozolânico, agregado com uma boa granulométrica e maior tempo de mistura também beneficiam esta propriedade.

2.1.4.3 Densidade de Massa

A massa específica diz respeito à relação entre a massa da argamassa e o seu volume e pode ser absoluta ou relativa. Na determinação da massa específica absoluta, não são considerados os vazios existentes no volume de argamassa. A relativa, também chamada

massa unitária, consideram-se os vazios. A massa específica é imprescindível na dosagem das argamassas, para a conversão do traço em massa para traço em volume, que são comumente empregados na produção das argamassas em obra (MACIEL, 1998).

A massa específica varia com o teor de ar e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente do agregado. Quanto mais leve for a argamassa, mais trabalhável será a longo prazo, reduzindo esforço em sua aplicação e resultando em maior produtividade (CARASEK, 2007), a Tabela 7 apresenta a classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco e seus principais usos:

Tabela 7 - Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco.

Argamassa	Densidade de massa A (g/cm ³)	Principais agregados empregados	Usos
Leve	< 1,40	Vermiculita, perlita, argila expandida	Isolamento térmico e acústico
Normal	2,30 ≤ A ≤ 1,40	Areia de rio, e calcário britado	Aplicações convencionais
Pesada	> 2,30	Barita (Sulfato de bário)	Blindagem de radiação

Fonte: (CARASEK, 2007).

2.1.4.4 Teor de Ar Incorporado

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 (BEZERRA, 2010). Logo, uma argamassa com menor densidade de massa e maior teor de ar, apresenta melhor trabalhabilidade, devido à redução do atrito entre os constituintes da mistura, porém com o custo de afetar negativamente quanto às propriedades de resistência mecânica e a aderência da argamassa, que são propriedades importantes para que as argamassas sejam utilizadas, pois o ar não oferece resistência nenhuma às solicitações.

2.1.4.5 Aderência Inicial

Corresponde a aderência da argamassa no estado fresco ao substrato. Ela está diretamente relacionada com as características reológicas da pasta aglomerante, especificamente a sua tensão superficial. A redução da tensão superficial da pasta favorece a “molhagem” do substrato, reduzindo o ângulo de contato entre as superfícies e implementação da adesão. Esse fenômeno propicia um maior contato físico da pasta com os grãos de agregado e também com sua base, melhorando, assim, a adesão (SANTOS, 2008).

2.1.5 Propriedade das Argamassas no Estado Endurecido

De acordo com Maciel (1998), as propriedades da argamassa no estado endurecido equivalem às propriedades do próprio revestimento, dessa forma, nível de exigência é diferente conforme a sua solicitação. A Tabela 8 mostra, através de uma escala qualitativa que cresce de 1 a 5, a variação do nível de exigência das propriedades de maior relevância para o revestimento.

Tabela 8 - Nível de exigência das propriedades do revestimento de argamassa.

Propriedades	Condições de Exposição				
	Interno			Externo	
	Paredes		Teto	Paredes	
	Base Pintura	Base Cerâmica		Base Pintura	Base Cerâmica
Capacidade de aderência	1	2	5	3	4
Capacidade de absorver deformações	3	1	3	4	2
Resistência à tração e à compressão	1	2	1	3	4
Resistência ao desgaste superficial	3	1	1	2	1
Durabilidade	2	2	1	4	3

Fonte: (SABBATINI, 1988 apud MACIEL, 1998).

2.1.5.1 Aderência

De acordo com (SABBATINI, 1979 apud MACIEL, 1998), a aderência da argamassa endurecida ao substrato é resultado da conjugação da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência.

Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e pelas cavidades do substrato. No interior dos poros ocorrem fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e transcorrido algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base. Existe ainda uma pequena parcela de aderência química, menos significativa que a aderência mecânica de ancoragem nos poros, este tipo corresponde à resistência de aderência que advêm de forças covalentes ou forças de Van der Waals, desenvolvidas entre a unidade de alvenaria e os produtos da hidratação do cimento (CARASEK, 2007).

Desta forma, segundo (SILVA, 2008), os fatores que exercem maior influência na aderência de argamassas sobre as bases, são:

- Os materiais constituintes, tanto sua natureza como suas proporções;
- A trabalhabilidade da argamassa e técnicas de execução do revestimento: com uma trabalhabilidade adequada, a argamassa terá um melhor espalhamento apresentando contato mais extenso com a base. A técnica executiva, quando bem efetuada, tende a ampliar a extensão de contato em função das operações de compactação e prensagem;
- A natureza e características da base: a textura superficial e a capacidade de absorção da base dependem da natureza, distribuição e do diâmetro de seus poros, que podem ampliar ou não a extensão de aderência e ancoragem do revestimento;
- As condições de limpeza da superfície de aplicação: a existência de partículas soltas ou grãos de areia, poeira, fungos, camadas superficiais de desmoldantes ou graxa, podem comprometer a aderência da argamassa à base.

2.1.5.2 Capacidade de Absorver deformações

É a propriedade do revestimento, quando estiver sob tensão, sofrer deformações sem ruptura ou através de fissuras não prejudiciais, essas fissuras, são decorrentes do alívio de tensões originadas pelas deformações da base. As deformações podem ser de grande ou de pequena amplitude, sendo responsabilidade do revestimento absorver apenas as deformações de pequena amplitude que ocorrem em função da ação da umidade ou da temperatura e não as de grande amplitude, provenientes de outros fatores, como por exemplo, recalques estruturais (CARASEK, 2007). A capacidade de absorver deformações depende:

- Do módulo de deformação da argamassa - quanto menor for o módulo de deformação (menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações;
- Da espessura das camadas - espessuras maiores contribuem para melhorar essa propriedade; entretanto, devem-se tomar cuidado para não se ter espessuras excessivas que poderão comprometer a aderência;
- Das juntas de trabalho do revestimento - as juntas delimitam panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações, contribuindo para obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais;
- Da técnica de execução - a compressão após a aplicação da argamassa e, também, a compressão durante o acabamento superficial, iniciado no momento correto, vão contribuir para o não aparecimento de fissuras. O aparecimento de fissuras prejudiciais compromete a aderência, a estanqueidade, o acabamento superficial e a durabilidade do revestimento.

2.1.5.3 Resistência à compressão e tração

A resistência mecânica das argamassas de revestimento diz respeito à capacidade destas argamassas de resistirem às tensões de tração, compressão e cisalhamento às quais o revestimento pode estar sujeito. Ela é influenciada basicamente pela natureza dos aglomerantes, natureza dos agregados, proporção aglomerante/agregado, relação água/cimento da mistura fresca e técnica de execução do revestimento (CARVALHO JR, 2005).

Os ensaios de resistência à compressão são realizados seguindo a NBR 13279 (ABNT, 2005) que utiliza corpos-de-prova prismáticos, (4x4x16) cm, submetidos a ensaios de tração por flexão e de compressão simples, um seguido do outro. Ainda é comum que se faça a medida do desempenho à compressão através da norma NBR 7215 (ABNT, 1996), que utiliza corpos-de-prova cilíndricos de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Porém, segundo (POSSER, 2004), os ensaios utilizando corpos-de-prova prismáticos apresentam melhor relação com a argamassa aplicada devido à espessura da amostra ser mais próxima da espessura do revestimento, tornado assim o ensaio mais representativo à realidade. Corpos-de-prova prismáticos ainda apresentam como vantagem o fato de se obter dois resultados com um único ensaio, resistência à tração através de flexo-tração, e resistência à compressão. Dessa forma, ao realizar a ruptura à tração por flexão na seção transversal central do corpo-de-prova prismático, obtêm-se duas amostras que posteriormente serão ensaiadas à compressão.

2.1.5.4 Retração

A retração ocorre por causa da rápida e acentuada perda de água de amassamento e devido às reações de hidratação dos aglomerantes. Isso resulta no surgimento de fissuras nos revestimentos (SANTOS, 2008, apud OLIVEIRA, 2009). Segundo (BEZERRA, 2010), 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 uma perda de água acelerada e por consequência, surgimento de fissuras.

A retração é uma das grandes causadoras de patologias encontradas nos revestimentos. Tal situação justifica-se pelo fato da retração gerar fissuras que permitem a penetração de água, originando o aparecimento de fungos e bolor, podendo provocar o descolamento do revestimento e do acabamento (GOMES, 2005 apud BRAGA, 2010).

2.1.5.5 Permeabilidade

A permeabilidade à água é uma propriedade dos revestimentos relacionada com a absorção capilar da estrutura porosa e eventualmente fissurada da camada de argamassa

endurecida. A permeabilidade desta camada tem fundamental importância na determinação da estanqueidade do sistema vedação e no nível de proteção que o revestimento deve oferecer à base contra a ação das chuvas ou de águas de lavagem da edificação. (SABBATINI, 1992)

Segundo (MACIEL, 1998), o revestimento deve ser estanque à água, impedindo a sua percolação. Mas, é recomendável que o revestimento seja permeável ao vapor para favorecer a secagem de umidade de infiltração (como a água da chuva, por exemplo) ou decorrente da ação direta do vapor de água, principalmente nos banheiros. Quando existem fissuras no revestimento, o caminho para percolação da água é direto até a base e, com isso, a estanqueidade da vedação fica comprometida.

2.1.5.6 Durabilidade

Durabilidade é a propriedade que a argamassa possui de resistir a ataques de meios e agentes agressivos, e mesmo assim manter suas características físicas e mecânicas inalteradas com o passar do tempo, desempenhando suas funções. Fissuras, espessura exagerada, cultura e proliferação de microorganismos, qualidade da argamassa e falta de manutenção são fatores dos quais a durabilidade vai depender (SANTOS, 2008 apud OLIVEIRA, 2009).

Segundo (SABBATINI, 1992), o desempenho dos materiais de acabamento, dos sistemas de vedação e a estética da obra estão diretamente correlacionados com a durabilidade dos revestimentos, o que demanda decisões coordenadas e controles de qualidade a nível de todas as etapas do processo construtivo. A avaliação tecnológica da durabilidade dos revestimentos pode ser realizada através de ensaios acelerados de envelhecimento. Feitos em câmaras climatizadas, representam na maioria das vezes condições de exposição bem mais severas do que as reais sendo, por isto, de difícil correlação com a vida útil dos revestimentos. Acredita-se que a melhor forma de se estudar a durabilidade de revestimentos seja através de pesquisas de campo sistematizadas que considerem as reais condições de execução dos serviços e de exposição dos revestimentos

2.2 Babaçu

O Gênero *Orbignya* possui 11 espécies distribuídas na América Central e América do Sul, do México ao Peru, Bolívia e Brasil. Tal gênero faz parte da família das palmeiras

(Palmae ou Arecaceae). O babaçu verdadeiro, *Orbignya phalerata* Mart, é a espécie de maior distribuição e a de maior importância econômica no gênero. O nome babaçu tem origem do Tupi-Guarani: ba = fruto; açu = grande) (HENDERSON, 1995, apud SANTOS E SILVA, 2011).

O babaçu (Figura 5a) (*Orbignya Phalerata*) é uma palmeira de tronco simples, robusto, imponente, com até 20 m de altura. É uma palmeira mono caule, que produz frutos de coloração marrom. O fruto do babaçu (Figura 5b) (uma drupa) com sementes oleaginosas e comestíveis com elevado número de cocos por cacho (150 a 250) e uma quantidade média de quatro cachos por palmeira. Os frutos têm formato oblongo-elipsoidal, medindo de 8 a 15 cm de comprimento e cinco a sete de diâmetro, pesando de 90 a 280 g (FRANCO 2010, apud LORENZINE 1996).

O período vegetativo da palmeira, desde a germinação do coco até a produção do primeiro cacho, é de 7 a 12 anos, com uma vida produtiva de aproximadamente 60 anos, considerando as condições locais de ocorrência, a palmeira do babaçu floresce de novembro até janeiro, sendo que o período de desenvolvimento dos cachos que vai de julho até novembro. (WILHELMS 1968 apud SANTOS E SILVA, 2011; SILVA, 2011).

Figura 5 - Palmeira e frutos do babaçu (Orbignya phalerata).



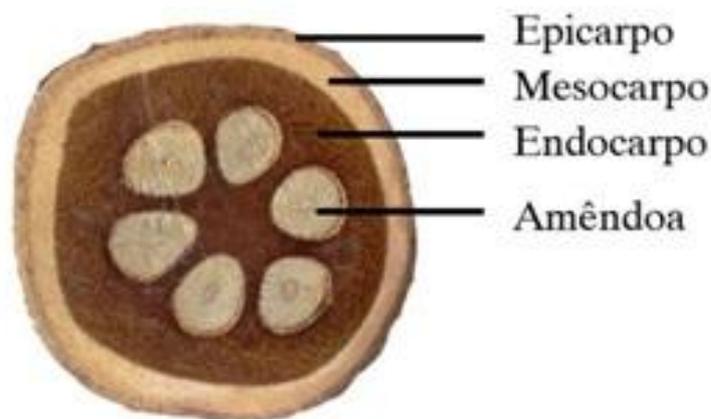
(Foto: SANTOS E SILVA, 2011).

2.2.1 Composição do Coco de Babaçu

De acordo com (EMBRAPA, 2007 apud PARENTE, 2003), de fora para dentro, complementarmente ilustrado na Figura 6, o coco de babaçu apresenta a seguinte composição, por peso:

- Epicarpo (12-18%) - vulgarmente chamado ouriço - é um material fibroso, ligno-celulósico, podendo ser utilizado como combustível industrial na forma de biomassa;
- Mesocarpo (17-22%) - de composição amilácea, contendo tanino e amido, presta-se como energético na produção de rações ou para a produção de etanol;
- Endocarpo (52-60%) - altamente resistente, tendo em sua composição: sílica, fósforo, ferro, magnésio e metais alcalinos. O lignito pode ser utilizado na produção de peças aglomeradas, possíveis de serem empregadas como substituto de madeiras, na indústria de móveis e nas construções civis;
- Amêndoa oleaginosa (6-8%), com a seguinte composição: 7,25% de proteína, 66,00% de óleo, 18,00% de carboidratos e 7,80% de materiais minerais. Da extração do óleo, resulta torta utilizável para ração de animais.

Figura 6 - Corte transversal do coco de babaçu.



Fonte: Figura do Autor.

2.2.2 Principais Regiões Produtoras

Segundo (FRANCO, 2010), atualmente no Brasil, encontram-se vastos babaçuais espalhados ao sul da bacia amazônica, onde a floresta úmida cede lugar à vegetação típica dos cerrados. Os estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, como ilustra a Figura 7, concentram as maiores extensões de matas onde predominam os babaçuais, formando, muitas vezes e espontaneamente, agrupamentos homogêneos, bastante densos e escuros, tal a proximidade entre os grandes coqueiros.

O Nordeste brasileiro possui uma área de cerca de 12 milhões de hectare plantados com babaçu; a maior parte está concentrada no estado do Maranhão, de onde mensalmente são extraídas em torno de 140.000 toneladas de amêndoas (LIMA, 2007).

Além dos estados do Nordeste brasileiro, destacam-se os babaçuais de áreas em Goiás, Minas Gerais e Espírito Santo. O gênero *Orbignya* ocorre também em outros países das Américas, do México para o sul (EMBRAPA, 1984). A ocorrência do babaçu em diversos Estados brasileiros é justificada pela tolerância a climas com temperaturas elevadas e constantes e precipitações pluviométricas acima de 1.000 mm anuais, condições verificadas especialmente nas regiões de cerrado, cocais e baixadas (SILVA, 2011).

Figura 7 - Áreas de ocorrência do Babaçu. Em destaque Região do Cocais na divisa entre os Estados do Maranhão e Piauí.



Fonte: (SANTOS E SILVA 2011).

Antes de surgir o interesse por parte do mercado internacional, até os primeiros anos do século XX o babaçu era conhecido apenas pelos lavradores do interior dos estados produtores do fruto (Mato Grosso, norte de Goiás, Maranhão, Piauí entre outros). As primeiras exportações da amêndoa do coco babaçu, datam de 1911, para a Alemanha, ampliando-se a outros países, como: Holanda, Portugal e Dinamarca, após a Primeira Guerra Mundial. Em termo de demanda interna, sua ampliação ocorreu a partir dos anos de 1930 com o primeiro surto de industrialização brasileira, ainda neste mesmo período, no contexto da Segunda Guerra Mundial, cresce interesse americano pelo produto (SANTOS, 1979; QUEIROZ, 2006 apud SILVA 2011).

2.2.3 Processamento do Coco de Babaçu

O coco babaçu cai espontaneamente da palmeira após sua maturação, onde pode ser apanhado no chão pelos catadores. A coleta e quebra dos frutos dessa palmácea chega a empregar até 2,0 milhões de pessoas durante o pico da safra. Devido às condições adversas do terreno onde prolifera a palmeira, normalmente na mata, o babaçu colhido é transportado para sua casa em cestas de palha, usualmente em lombo de animais, quando não é possível, a quebra do coco é realizada ao pé da palmeira. Os frutos são quebrados de forma rudimentar, geralmente por mulheres, utilizando o machado como ferramenta de corte e uma barra de madeira para a ação mecânica (FRANCO, 2010).

O principal produto do babaçu é o óleo da amêndoa, que representa cerca de 65% do peso da amêndoa, esse óleo é subproduto para a fabricação de sabão, glicerina e óleo comestível, mais tarde transformado em margarina, e de uma torta utilizada na produção de ração animal e óleo comestível (USP, 2006 apud ALBIERO, 2006). Entretanto, o babaçu é um fruto que pode ser integralmente aproveitado, dando origem a mais de 60 outros produtos (FAMAAMAZONICA, 2012), ainda assim, quando apenas as amêndoas são aproveitadas, o mesocarpo juntamente com o epicarpo e o endocarpo são em geral destinados à produção de carvão, ou transformados em briquetes, sendo que esta última alternativa representa uma das fontes tecnológicas de melhor reaproveitamento destes resíduos.

2.3 Briquete

2.3.1 Breve histórico

A primeira patente relacionada à atividade de briquetagem foi concedida a William Easby, em 1848. O processo desenvolvido possibilitava a formação de aglomerados sólidos de tamanho e forma variados, a partir de frações finas de qualquer tipo de carvão, por meio da pressão exercida sobre esse material. Por esse processo, materiais de pequeno ou quase nenhum valor agregado podiam ser transformados em um produto de elevado valor combustível para máquinas a vapor, forjas, culinária e outras aplicações, permitindo recuperar grande parte dos finos considerados como rejeito do processo de beneficiamento de carvão (CARVALHO, 2004).

2.3.2 Definição

O Briquete (Figura 8) é uma lenha ecológica (reciclada) que é resultado do processo de secagem e prensagem de serragem ou pó dos mais diversos tipos de madeira e de resíduos florestais e industriais. O briquete é adequado para uso em caldeiras industriais e também na substituição com grande eficiência o uso da lenha comum, o óleo combustível e o gás natural. A briquetagem consiste na aglomeração de partículas finas por meio de pressão, com auxílio ou não de um aglutinante, permitindo a obtenção de um produto não só compactado, porém com forma, tamanho e parâmetros mecânicos adequados, tornando o transporte e armazenamento um processo mais econômico (OLIVEIRA, 2012). Além disso, a briquetagem é um processo eficiente, tendo em vista que os briquetes possuem no mínimo cinco vezes mais energia que os resíduos que os originaram, sendo que seu poder calorífico é superior até ao da lenha convencional (REMADE, 2012).

Figura 8 – Briquetes variados.



Fonte: (BRIQUETESBIOMASS, 2012).

2.3.3 Principais Benefícios de Utilização

Dentre as vantagens do uso de briquetes, (OLIVEIRA 2012) destaca:

- O Briquete é o combustível sólido mais limpo que existe no mercado. Devido às caldeiras de combustão altamente eficiente desenvolvidas ao longo dos últimos anos, a emissão de compostos químicos, como óxidos de nitrogênio, ou compostos orgânicos voláteis, é muito reduzida, o que torna o Briquete uma das formas de aquecimento menos poluente disponíveis atualmente no mercado;
- O briquete é adequado para uso em caldeiras industriais e também na substituição com grande eficiência o uso da lenha comum, o óleo combustível e o gás natural;
- Como a sua matéria-prima que utiliza são subprodutos da indústria e resíduos florestais, o preço do Briquete tem um custo menor do que os preços de outros tipos de combustíveis. Como consequência, os Briquetes reduzem a nossa dependência energética em relação ao gás e ao petróleo;
- Não é necessário cortar árvores para a produção de Briquete, porque a matéria-prima que utiliza é o resíduo florestal;
- O Briquete é diferenciado no mercado. Poder calorífico competitivo (substituto potencial do petróleo, gás natural). Flexibilidade de movimentação e automação.

O armazenamento do Briquete é mais seguro, porque não possuem os riscos associados ao gás e o petróleo e não há fugas nem perigo de explosão.

2.3.4 Processo de Fabricação dos briquetes

De acordo com Carvalho (2004), processo de briquetagem pode ser dividido nas seguintes etapas:

1. Preparação: Etapa onde as características dos resíduos para briquetagem serão determinadas e também será definido o tipo de equipamento utilizado para facilitar a adesão das partículas finas. A determinação das propriedades do material permite conhecer não só o valor máximo da pressão a ser aplicada, como também a taxa de compactação requerida pelo material;
2. Mistura: Fase do processo no qual o material aglutinante será adicionado junto ao resíduo. A mistura dos reagentes é uma das etapas mais importantes da briquetagem, sendo de fundamental importância que o aglutinante seja distribuído uniformemente por toda superfície do material a ser briquetado, garantindo assim a geometria final após compactação;
3. Compactação: A compressão do material se dá no espaço existente entre os dois rolos que, montados um diante do outro, giram com velocidade de rotação igual e em sentidos contrários;
4. Tratamento térmico: Para evitar a fratura devida à choques térmicos e também permitir o manuseio dos briquetes ou tabletes, logo após a sua formação, os mesmos devem ser imediatamente aquecidos e em seguida resfriados lentamente, seguindo uma velocidade controlada.

2.3.5 Caracterização dos Resíduos Compactados

Dentre toda a gama de resíduos submetidos para a briquetagem, destacam-se os briquetes de casca de arroz, casca de amendoim, resíduos de madeira, bambu, casca de cacau, casca de café, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos de colheita de algodão vegetal, casca de coco verde, dentre outros. Existe ainda o briquete de casca de coco de babaçu, que apesar de apresentar as mesmas características dos briquetes de outras biomassas disponíveis no

mercado, merece enfoque, pois a incorporação de suas cinzas pós queima no processo de fabricação das argamassas de revestimento é o tema do presente trabalho. A Tabela 9 apresenta as caracterizações dos principais resíduos compactados disponíveis no mercado segundo (QUIRINO, 2009).

Tabela 9 - Caracterização dos resíduos compactados no Laboratório de Produtos Florestais.

Materiais combustíveis	Teor de umidade (%)	Massa específica (g/cm ³)	PCS (Kcal/kg)	Teor de cinzas (%)
Briquete de casca de coco de babaçu 1	14,35	1,17	4.479	7,61
Briquete de casca de coco de babaçu 2	9,05	1,21	4.608	3,88
Casca de coco de babaçu	11,58	0,631	4.979	2,14
Briquete de bagaço de Cana	26,5	-	4.036	13,2
Briquete de casca de café	11,2	1,23	4.300	6,2
Briquete de casca de café 2	12,7	1,2	4.574	5,3
Briquete de resíduo industrial de candeia	6,38	1,27	5.004	0,84
Briquete de serragem c/ bagaço de cana	10,51	0,81	4.640	2,42
Resíduo de colheita de algodão	24,37	-	4.159	28.52
Casca de arroz	11,37	-	3.769	-
Cavaco de madeira 1	120,19	-	4.564	-

Fonte: (QUIRINO, 2009).

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A metodologia experimental descrita a seguir foi elaborada utilizando como base o objetivo principal deste trabalho, que pretende desenvolver argamassas de revestimento com adição de CCCB em relação à massa do cimento, e posteriormente, comparar seus desempenhos com uma argamassa de referência sem qualquer adição de cinzas. Nos ensaios foram considerados os desempenhos tanto no estado fresco quanto no endurecido utilizando, normatização vigente estabelecida pela ABNT, materiais cotidianamente empregados nas construções da região agreste de Pernambucano e condições de exposição referentes à cidade de Caruaru-PE. Todo processo experimental que fundamentará as conclusões do presente trabalho pode ser observado passo a passo através da Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma de etapas e ensaios realizados



Fonte: Figura do Autor.

3.1 Materiais utilizados

3.1.1 Cimento

Foi utilizado cimento do tipo CP II Z – 32 da marca Nassau.

A massa específica do cimento foi determinada seguindo a metodologia indicada na NBR NM 23, o valor encontrado foi de 3,01g/cm³.

As características químicas e físicas do cimento fornecidas por Boletim Técnico da Empresa Nassau para o lote em questão, podem ser vistas, respectivamente, nas Tabela 10 e Tabela 11.

Tabela 10 - Características químicas do cimento.

Caracterização Química	Resultado (%)
Perda ao fogo	5,33
Resíduo Insolúvel	11,06
SiO ₂	22,79
Al ₂ O ₃	4,73
Fe ₂ O ₃	2,37
CaO	54,09
MgO	4,51
SO ₃	3,65
Na ₂ O	0,14
K ₂ O	1,58

Fonte: Boletim Técnico, empresa Nassau.

Tabela 11 - Características físicas do cimento.

Caracterização Física	Unidade	Resultado
Massa específica	g/cm ³	3,01
Área específica	m ² /kg	418,00
Consistência normal	%	28,3
Início de pega	horas	4,15
Fim de pega	horas	5,2
Resistência a compressão 1 dia	MPa	12,6
Resistência a compressão 3 dias	MPa	23,1
Resistência a compressão 7 dias	MPa	28,1
Resistência a compressão 28 dias	MPa	38,1

Fonte: Boletim Técnico, empresa Nassau.

3.1.2 Cal

Foi utilizada para composição das argamassas a cal hidratada do tipo CH – 1 da marca Achaqui. A massa específica da cal foi determinada seguindo a metodologia indicada na NBR NM 23, o valor encontrado foi de 2,47g/cm³.

3.1.3 Água de Amassamento

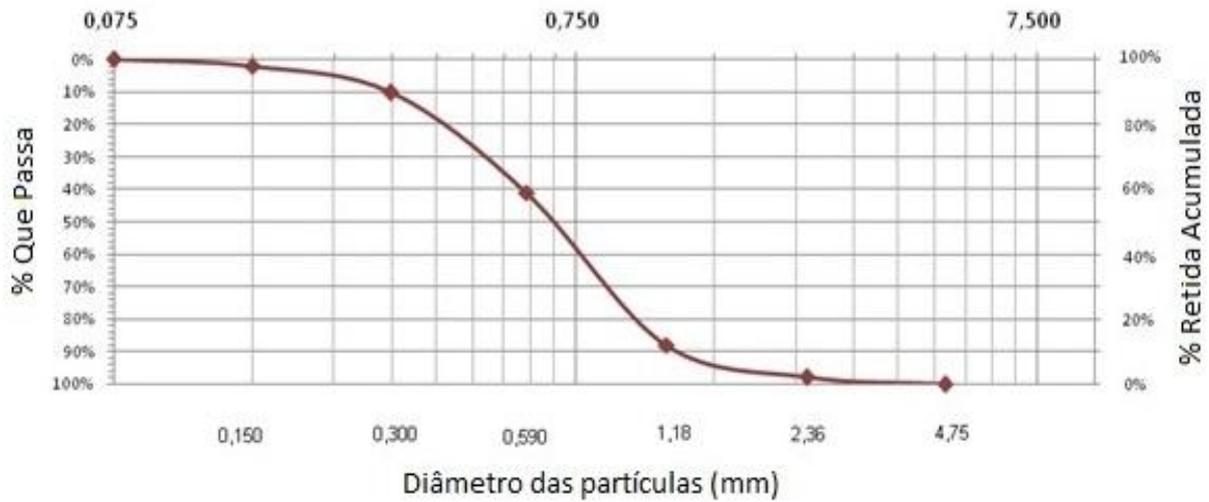
Foi utilizada água potável proveniente da rede local de abastecimento da Universidade Federal de Pernambuco – Campus Agreste.

3.1.4 Agregado Miúdo

Todo o agregado miúdo utilizado na composição das argamassas foi previamente lavado para a retirada de impurezas, no dia seguinte foi seco em estufa ajustada para 100° C durante 24 horas. Passado esse período de tempo, o agregado foi peneirado em uma peneira de malha 4,75mm e por fim armazenado em um recipiente fechado para evitar a absorção da umidade ambiente.

A massa específica do agregado miúdo foi determinada através da metodologia da NBR NM 23, o valor encontrado foi de 2,60g/cm³. A curva granulométrica da areia encontra-se exposta na Figura 10.

Figura 10 - Curva granulométrica da areia.



Fonte: Figura do Autor.

A areia é considerada média, bem graduada e uniforme, segundo a NBR 7211 (2009), as características físicas do agregado estão expostas na Tabela 12 – Características físicas da areia

Tabela 12 – Características físicas da areia

Características	Unidades	Resultado
Módulo de finura	-	3,4
Dimensão máxima característica	mm	2,6

Fonte: Tabela do autor

3.1.5 Cinzas

Foram utilizadas nos experimentos do presente trabalho as cinzas residuais provenientes da queima de dois sacos de briquete de casca de coco de babaçu fornecidos por um revendedor local de lenhas ecológicas, as cinzas foram geradas a partir de um forno a lenha de pizzaria semelhante ao ilustrado na Figura 11. A escolha do forno de uma pizzaria está intimamente relacionada com a aplicação prática da forma que a maior parte dos briquetes é queimada em Caruaru/PE. Sabe-se que a temperatura e condições de queima tem forte

influência nas características físicas, químicas e de pozolanicidade das cinzas obtidas da queima de massas agroindustriais.

Figura 11 - Forno de pizzaria utilizado para obter as CCCB utilizadas nas atividades deste trabalho.



Fonte: Figura do Autor.

Após a queima foi verificado um rendimento de aproximadamente 5 kg de cinzas, sendo em seguida classificadas em peneira de malha 150 μm , Figura 12, descartando a porção não passante. O rendimento final de cinzas peneiradas para cada quilograma de CCCB foi de 42%.

Figura 12 - Cinza de Casca de Coco de Babaçu após peneiramento em malha 150 μm .



Fonte: Figura do Autor.

3.1.5.1 Caracterização das cinzas

3.1.5.1.1 Análise Química

A análise da composição química da CCCB foi realizada no laboratório de materiais do departamento de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) utilizando fluorescência de Raios-X (FRX) por energia dispersiva em um equipamento Shimadzu, modelo EDX-820.

3.1.5.1.2 Determinação da atividade pozolânica da CCCB

A análise da atividade pozolânica da CCCB foi realizada seguindo a metodologia informada pela NBR 15895 (ABNT, 1995). Para tal fim, foi empregado o método de Chapelle modificado, que consiste em manter a uma temperatura de 90° C com constante agitação, por um período de 16 horas, uma solução contendo um grama de CaO, um grama de CCCB e 250 ml de água isenta de CO₂. Findo o período de 16 horas, foi adicionado 250 ml de solução de sacarose a 240 g/L com posterior agitação do conjunto, a solução foi então filtrada e titulada com solução padronizada de HCL 0,1 M usando solução de fenolftaleína a 1 g/L como indicador.

O índice de atividade pozolânica pode então ser obtido utilizando a equação

$$I_{ca} = \frac{28.(V_3 - V_2).F_c}{M_2} * 1,32 \quad \text{Eq.(4).}$$

$$I_{ca} = \frac{28.(V_3 - V_2).F_c}{M_2} * 1,32 \quad \text{Eq.(4)}$$

Onde:

I_{ca} = Índice de atividade pozolânica Chapelle;

M_2 = Massa de material pozolânico (g);

V_2 = Volume de HCl 0,1 M consumido no ensaio com a amostra;

V_3 = Volume de HCl 0,1 M consumido no ensaio com padrão;

F_c = Fator de correção do HCl para concentração de 0,1 M.

3.2 Produção das Argamassas

3.2.1 Desenvolvimento de Formulações

Foi tomado para elaboração de todas as formulações do experimento um traço unitário em volume referente ao Kg de cimento.

- Traço 1:2,88:5,17 (cimento, cal e agregado miúdo);
- A quantidade de água utilizada no preparo do traço de referência tomou como parâmetro base a faixa de consistência estabelecida pela NBR 13256 (ABNT, 2005) de 260 ± 5 mm. Para garantir a maior adição possível de CCCB, a água foi regulada até o ponto em que a argamassa atingisse um índice de consistência máximo do intervalo, que é 265 mm. A quantidade de água encontrada nesse processo foi então fixada como valor padrão para a moldagem das argamassas de referência.
- Considerando o fato que, materiais de alta superfície específica absorvem muita água do sistema, foi definido que a relação água/cimento seria fixa. Dessa forma, conforme adicionadas as CCCB ao sistema, suas partículas iriam absorver parte da água de amassamento e, conseqüentemente, aumentar o atrito entre as partículas solidas da mistura, resultando assim em uma gradativa redução no índice de consistência à medida que a adição de cinzas é elevada.

- As cinzas já peneiradas de CCCB foram adicionadas a argamassa inicialmente a uma proporção de 10% em relação ao peso do cimento, e sendo incrementada de 5 em 5% (10, 15, 20, 25, 30...) ate ser encontrada a máxima adição possível de CCCB necessária para atingir o valor mínimo do índice de consistência, que é de 255 mm. O valor da máxima porcentagem possível de CCCB em relação ao peso do cimento no traço foi então utilizado como parâmetro de adição para a elaboração de todos os demais experimentos.

3.2.2 Preparo das argamassas

As argamassas utilizadas em todas as atividades do trabalho foram produzidas e moldadas de acordo com as recomendações previstas na NBR 13276 (ABNT, 2002) para argamassas mistas. Durante a fase de produção da argamassa, foram inicialmente misturadas a areia, a cal e a água durante o intervalo de quatro minutos na velocidade baixa em uma argamassadeira eletro-mecânica de eixo vertical, Figura 13. A mistura então foi colocada em um recipiente com tampa, para evitar a perda de água por evaporação, que em seguida seu peso registrado através de uma balança de precisão.

Passado o período de 16 a 24 horas, tempo necessário para maturação da cal, o recipiente foi novamente pesado e a correção da quantidade de água evaporada foi feita. Em seguida, foi adicionado o cimento e as CCCB nas proporções previamente estabelecidas e toda a mistura foi novamente levada a argamassadeira por quatro minutos em velocidade baixa.

Figura 13 - Argamassadeira eletro-mecânica de eixo vertical.



Fonte: Figura do Autor.

3.3 Caracterização das argamassas no estado fresco

Neste trabalho, as propriedades das argamassas referentes ao estado fresco analisadas foram:

- Consistência;
- Retenção de água;
- Densidade de Massa.

3.3.1 Consistência

A consistência das argamassas foi acompanhada seguindo a metodologia definida na NBR 13276 (ABNT, 2005). O experimento foi realizado nas seguintes etapas:

- Foi aplicada, com auxílio de um pincel, uma fina película de óleo na base da mesa e no molde tronco-cônico para reduzir o atrito entre a argamassa e estas superfícies;
- O molde tronco-cônico foi preenchido em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, aplicando em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com o soquete, de maneira a distribuí-las uniformemente. Em seguida

foi realizado o rasamento da argamassa passando uma régua metálica rente à borda do molde com movimentos curtos de vai-e-vem ao longo de toda a superfície;

- Após a retirada do molde tronco-cônico, foi movimentada a manivela da mesa para índice de consistência, aplicando 30 quedas em 30 s de maneira uniforme;
- Imediatamente após a última queda da mesa, foi medido com o paquímetro o espalhamento do molde tronco-cônico original de argamassa em três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro, etapa ilustrada na

Figura 14 - Determinação do Índice de consistência.



Fonte: Figura do Autor.

3.3.2 Retenção de água

A medida de retenção de água das argamassas foi realizada em conformidade com as recomendações previstas na NBR 13277 (ABNT, 2005) através das seguintes etapas:

- Foi aplicada, durante 90 segundos, uma sucção equivalente a 51mm de coluna de mercúrio ao conjunto composto pelo funil de Buchner, prato e filtro de papel umedecido. Em seguida, todo o conjunto foi pesado.
- O conjunto foi preenchido com argamassa e adensado com 37 golpes de soquete distribuídos em 16 golpes, na borda, e 21 golpes no centro. O conjunto então foi rasado e novamente pesado.

- Novamente foi aplicada uma sucção equivalente a 51 mm de mercúrio ao conjunto durante 15 minutos, Figura 15. Após esse tempo, o conjunto é mais uma vez pesado, e a quantidade de água retida pode ser mensurada aplicando os

dados obtidos na equação $Ra = \left[1 - \frac{(ma - ms)}{AF(ma - mv)} \right] * 100$

Eq.(5):

$$Ra = \left[1 - \frac{(ma - ms)}{AF(ma - mv)} \right] * 100 \quad \text{Eq.(5)}$$

Onde:

$AF = \frac{mw}{m + mw}$, fator água argamassa fresca;

ma = massa do conjunto com argamassa, em gramas;

ms = massa do conjunto após a sucção, em gramas;

mw = massa total de acrescentada a mistura, em gramas;

m = soma das massas dos componentes anidros, em gramas.

Figura 15 - Funil de Buchner preenchido com argamassa durante sucção.



Fonte: Figura do Autor.

3.3.3 Densidade de massa

A densidade de massa no estado fresco foi medida utilizando a metodologia indicada na NBR 13278 (ABNT, 2005) através das etapas seguintes:

- Um recipiente cilíndrico com volume de 416,9 cm³ e massa 69,6 g, já devidamente calibrado conforme instrui a referida norma, foi completamente preenchido com argamassa em 3 sucessivas camadas, cada camada recebeu 20 golpes com uma espátula metálica e, em seguida foi aplicada 3 quedas sucessivas de 3 cm para evitar presença de vazios.
- A superfície foi rasada, duas vezes, com passadas ortogonais entre si para remover o excesso de argamassa. Após uma limpeza das bordas o recipiente preenchido com argamassa foi pesado. Os dados obtidos com as pesagens foram

$$\text{inseridos na expressão mostrada pela } d = \left(\frac{m_c - m_v}{V_r} \right) \cdot 1000$$

Eq.(6) para determinação da densidade de massa no estado fresco.

$$d = \left(\frac{m_c - m_v}{V_r} \right) \cdot 1000 \quad \text{Eq.(6)}$$

Onde:

d = densidade de massa da argamassa (kg/m³);

m_c = massa do recipiente cilíndrico com argamassa (g);

m_v = massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

V_r = volume do recipiente cilíndrico (cm³).

3.3.4 Avaliação da aplicação das argamassas em obra

A aplicabilidade das argamassas pesquisadas neste trabalho foi verificada em obra pelo Sr. José Galdino, mestre de obra com grande experiência em construção, que comparou os desempenhos entre a argamassa adicionada de CCCB e a argamassa sem adição tomada como referência. Os materiais foram levados para o local da obra já devidamente pesados e armazenados em recipientes para evitar a absorção de umidade, apenas a areia, cal e água foram misturadas 24 horas antes para garantir a maturação da cal. O aspecto da argamassa já pronta para aplicação logo após a mistura de todos os componentes pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 - Argamassa produzida manualmente no local de aplicação.



Fonte: Figura do Autor.

Durante aplicação foi avaliada de forma prática, empregando a sensibilidade do aplicador, parâmetros como:

- Trabalhabilidade;
- Densidade;
- Aderência;
- Acabamento.

3.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido

Neste trabalho, as propriedades das argamassas referentes ao estado fresco analisadas foram:

- Resistência à compressão e a tração na flexão;
- Densidade de massa;
- Absorção de água, índices de vazios e massa específica;
- Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.

3.4.1 Moldagem dos corpos de prova

Nos experimentos de caracterização no estado endurecido foram utilizados corpos de prova prismáticos, 4 cm x 4 cm x 16 cm, produzidos em moldes metálicos de dimensões padronizadas, conforme indica a NBR 13729 (ABNT, 2005), através da seguinte metodologia:

- Uma fina película de óleo foi aplicada nas superfícies de contato dos moldes com auxílio de um pincel. Este procedimento tem o objetivo de evitar que as extremidades dos corpos de prova quebrem durante a fase de desmoldagem;
- Os moldes foram preenchidos com argamassa, preparada conforme visto em 3.2.2, em duas camadas, cada uma delas recebeu 30 golpes com auxílio de uma mesa de adensamento.
- Após o adensamento da última camada, foi efetuado o rasamento utilizando uma espátula metálica. Os moldes então foram organizados em um local reservado, Figura 17, e deixados por 24 h ao ar livre antes da desmoldagem.

Figura 17 - Corpos de prova nos moldes acomodados ao ar livre.



Fonte: Figura do Autor

3.4.2 Resistência à compressão e a tração na flexão

Para a determinação da resistência à compressão e tração na flexão das argamassas foram utilizadas as metodologias descritas na NBR 13279 (ABNT, 2005). Foram moldados e

curados ao ar, até o momento do ensaio, 9 corpos de prova prismáticos, 4 cm x 4 cm x 16 cm, para cada uma das idades de 7, 14 e 28 dias, tanto para a argamassa de referência quanto para a argamassa contendo adição de CCCB.

3.4.2.1 Resistência à tração na flexão

Os corpos de prova foram devidamente posicionados, conforme ilustra Figura 18, em uma prensa Modelo Shimadzu UH 2000 kN, utilizando a escala de 40 kN. Foi então aplicada uma carga de 50N/s até que ocorresse a ruptura, Figura 19.

Figura 18 – Corpo de prova posicionado na prensa durante ensaio de resistência a tração na flexão.



Fonte: Figura do Autor.

Figura 19 - Corpo de prova rompido à tração na flexão.

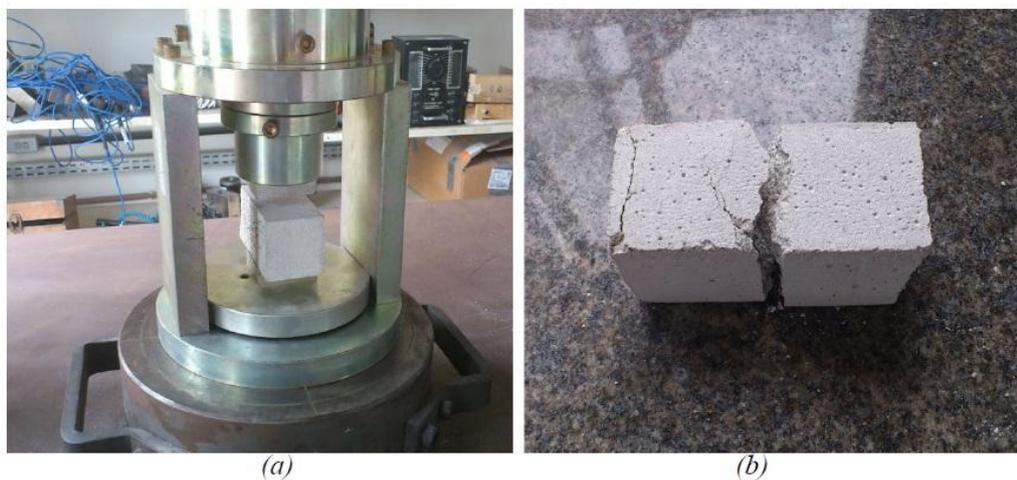


Fonte: Figura do Autor.

3.4.2.2 Resistência à compressão

Após o ensaio de flexão, cada uma das metades dos corpos de prova foi devidamente posicionada em um dispositivo acoplado a prensa modelo Shimadzu UH 2000 kN, utilizando a escala de 40 kN. A carga aplicada foi de 500 N/s até que ocorresse a ruptura, o ensaio descrito pode ser melhor visualizado com auxílio da Figura 20.

Figura 20 - Corpo de prova posicionado para ensaio de compressão (a) e em seguida após ruptura (b).



Fonte: Figura do Autor.

3.4.3 Densidade de massa

A densidade de massa foi determinada com base na metodologia descrita na NBR 13280 (ABNT, 2005). Foram moldados e curados ao ar, até o momento do ensaio, 6 corpos de prova prismáticos, 4 cm x 4 cm x 16 cm, curados ao ar por 28 dias, tanto para a argamassa de referência quanto para a argamassa contendo adição de CCCB. Após desmoldados, foi registrada o volume e peso de cada corpo de prova e calculada a densidade de massa através

da expressão mostrada na $\rho = \left(\frac{M}{V} \right) \cdot 1000$ Eq.(7).

$$\rho = \left(\frac{M}{V} \right) \cdot 1000 \quad \text{Eq.(7)}$$

Onde:

ρ = massa específica expressa em kg/m³

V = volume do corpo de prova em cm³

M = massa do corpo de prova em g.

3.4.4 Absorção de água, índices de vazios e massa específica.

Todos os ensaios referentes a esta seção foram realizados seguindo as metodologias descritas na NBR 9778 (ABNT, 2005). Foram moldados 3 corpos de prova prismáticos, curados ao ar por 28 dias, em conformidade com a NBR 13729 (ABNT, 2005), tanto para a argamassa de referência quanto para a argamassa contendo adição de CCCB.

Para a determinação da absorção de água, índices de vazios e massa específica foram seguidos às próximas etapas descritas:

- Os 6 corpos de prova, 3 de referência e 3 contendo adição de CCCB, foram colocados para secar em estufa a uma temperatura de 105°C, por 72 horas e em seguidas resfriados até a temperatura ambiente e pesados individualmente;

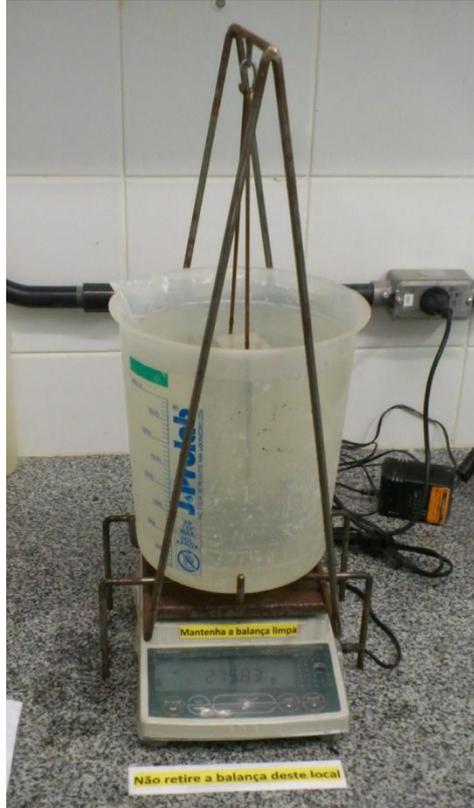
- Os corpos de prova foram então imersos em água por 72 h para saturação, Figura 21a, passado esse período de tempo, os corpos de prova foram então colocados em um recipiente com água em ebulição por 5 horas, Figura 21b.
- Após o tempo em ebulição, os corpos de prova foram resfriados naturalmente em água e, em seguida, pesados em balança hidrostática, Figura 22.

Figura 21 - Corpos de prova posicionados no recipiente com água em temperatura ambiente por 72 horas (a), e em recipiente com água em ebulição (b).



Fonte: Figura do Autor.

Figura 22 - Pesagem dos corpos de prova em balança hidrostática.



Fonte: Figura do Autor.

3.4.4.1 Absorção de água

Para determinação da absorção de água foi utilizada a expressão descrita na

$$A = \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq.(8)}$$

$$A = \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq.(8)}$$

Onde:

M_{sat} = massa da amostra saturada após fervura pesada em balança convencional;

M_s = massa da amostra seca.

3.4.4.2 Índices de vazios

Para determinação do Índice de vazios foi utilizada a expressão descrita na

$$I_v = \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq.(9)}$$

$$I_v = \left(\frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq.(9)}$$

Onde:

I_v = Índice de vazios;

M_i = massa da amostra saturada pesada em balança hidrostática.

3.4.4.3 Massa específica

Para determinação da Massa específica foi utilizada a expressão descrita na ...

Eq.(10).

$$\rho_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad \text{Eq.(10)}$$

Onde:

ρ_s = massa específica da amostra seca.

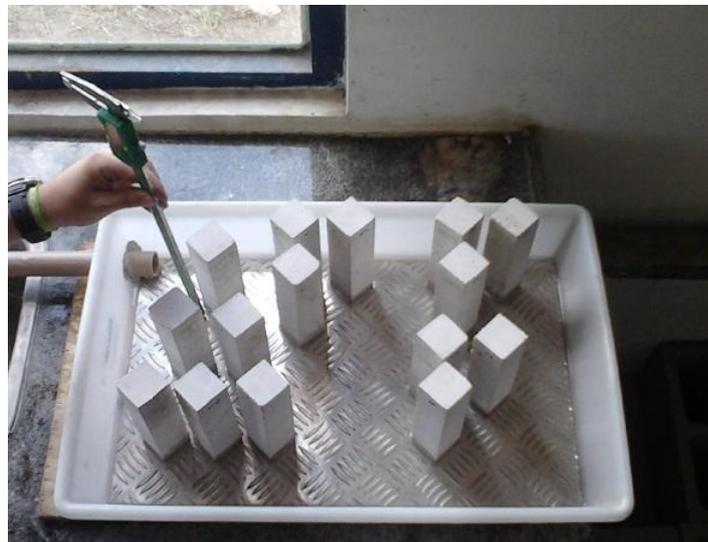
3.4.5 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

3.4.5.1 Absorção de água por capilaridade

A Absorção de água por capilaridade foi determinada através das metodologias descritas na NBR 15259 (ABNT, 2005). Foram moldados 3 corpos de prova prismáticos, curados ao ar por 28 dias, em conformidade com a NBR 13729 (ABNT, 2005), tanto para a argamassa de referência quanto para a argamassa contendo adição de CCCB. As etapas seguidas foram:

- Foi lixada e limpa uma das extremidades de cada corpo de prova e, em seguida, os mesmos foram pesados individualmente.
- Os corpos de prova então foram posicionados com a face lixada para baixo em um recipiente com nível de água constante de 5 ± 1 mm, etapa ilustrada na Figura 23.
- Os corpos de prova foram então pesados após 10 e 90 minutos de imersão, removendo antes de cada pesagem o excesso de água com pano levemente úmido, Figura 24.

Figura 23 - Corpos de prova imersos em uma lamina de água constante de 5 ± 1 mm.



Fonte: Figura do Autor.

Figura 24 - Corpos de prova durante a pesagem, procedimento empregado após 10 e 90 minutos de imersão.



Fonte: Figura do Autor.

A absorção de água por capilaridade foi determinada através da expressão definida na

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad \text{Eq.(11).}$$

$$A_t = \frac{m_t - m_0}{16} \quad \text{Eq.(11)}$$

Onde:

A_t = Absorção de água por capilaridade (g/cm³);

M_t = Massa do corpo de prova a cada tempo (g);

M_0 = Massa inicial do corpo de prova (g);

16 = área de corpo de prova avaliado (cm²).

3.4.5.2 Coeficiente de capilaridade

O coeficiente de capilaridade é definido, conforme indica a NBR 15259 (ABNT, 2005), pela expressão mostrada na $C = m_{90} - m_{10}$ Eq.(12).

$$C = m_{90} - m_{10} \quad \text{Eq.(12)}$$

Onde:

C é expresso em $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$

M_{90} = Massa do corpo de prova após 90 min (g);

M_{10} = Massa do corpo de prova após 10 min (g).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e comentados os resultados obtidos no presente trabalho.

4.1 Cinzas

4.1.1 Análise química

As cinzas de casca de coco de babaçu apresentam em torno de 41% de sílica, 0,57% de Fe_2O_3 e 0,89% de Al_2O_3 , entre outros elementos químicos identificados, o que indica que essas cinzas não possuem as condições químicas necessárias para desenvolver atividade pozolânica, segundo a NBR 12653 (1992), que preconiza o valor mínimo de 50% para o somatório dos percentuais de SiO_2 , Fe_2O_3 e Al_2O_3 , para considerar um material como pozolânico. Esse resultado refere-se as cinzas tais quais obtidas, sem nenhum tratamento térmico ou de granulometria.

4.1.2 Determinação da atividade pozolânica das cinzas

O consumo de pozolana/CaO obtido pelo ensaio de Chapelle para as cinzas queimadas no forno da pizzaria foi de 350 mg de cinza/mg de CaO. Pelo método de Chapelle, o material para ser considerado efetivamente pozolânico deve apresentar um índice de consumo mínimo de 270 mg de CaO/g da amostra (CHRISTÓFOLLI, 2010), ratificando os dados da análise química.

4.2 Produção das Argamassas

4.2.1 Desenvolvimento de Formulações

O traço já definido 1:2,88:5,17 (cimento, cal hidratada e areia), foi, para uma melhor precisão durante os ensaios, convertido em massa. A Tabela 13 apresenta os valores obtidos na conversão.

Tabela 13 - Conversão do traço 1:2,88:5,17 de volume para massa

Material	Traço	Traço em massa
Cimento	1 (em massa)	1
Cal Hidratada	2,88 (em volume)	1,64
Areia	5,17 (em volume)	7,77

Fonte: Tabela do Autor

4.3 Propriedades das argamassas no estado fresco

4.3.1 Consistência

Conforme já visto em 3.2.1, foi definido como parâmetro de referência a consistência de 260 ± 5 mm, recomendado pela NBR 13276 (ABNT, 2005). Inicialmente foi definida a quantidade de água necessária para que o traço da argamassa de referencia, Tabela 14, atingisse o limite superior do índice de consistência, que é de 265 mm.

Tabela 14 - Traço para a argamassa de referência.

Cimento	Areia (g)	Cal (g)	Água (fator a/c)
1	1,64	7,77	2,24

Fonte: Tabela do Autor

Mantendo a mesma relação água cimento obtido para a argamassa padrão, as cinzas de CCCB foram sendo adicionadas à argamassa inicialmente a uma proporção de 10% em relação ao peso do cimento, e sendo incrementada de 5 em 5% (10%, 15%, 20%, etc...) até ser encontrada a máxima adição possível de CCCB necessária para atingir o limite inferior do índice de consistência, que é de 255 mm.

Foi verificado durante os experimentos que este limite seria alcançado entre as proporções de 15% e 20% de CCCB, mais precisamente, o valor da máxima adição possível encontrado para o traço experimental foi de 17% de adição em relação à massa do cimento conforme expõe a Tabela 15.

Tabela 15 - % de adição de CCCB em relação à massa do cimento.

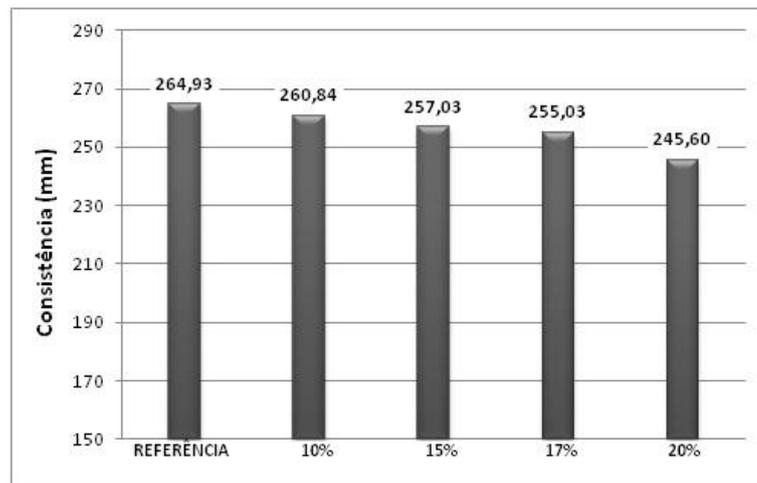
% Adição	Índice de consistência (mm)
10	260,84
15	257,03
17	255,03
20	245,60

Fonte: Tabela do Autor

A Figura 25 ilustra graficamente os dados obtidos para as porcentagens de CCCB adicionadas durante o experimento. A alta área superficial do resíduo, associada à sua finura, são responsáveis pela maior absorção de água pelas cinzas quando da sua adição, reduzindo a consistência com o incremento da quantidade de CCCB.

Conforme exposto anteriormente, os ensaios subsequentes de caracterização das argamassas serão efetuados para a argamassa que foi capaz de incorporar a maior quantidade de CCCB, comparativamente à argamassa de referência, ou seja, 17% de adição como carga ao sistema, em relação à massa de cimento.

Figura 25 - Representação gráfica dos índices de consistência referente à argamassa experimental contendo variadas porcentagens de CCCB adicionadas.

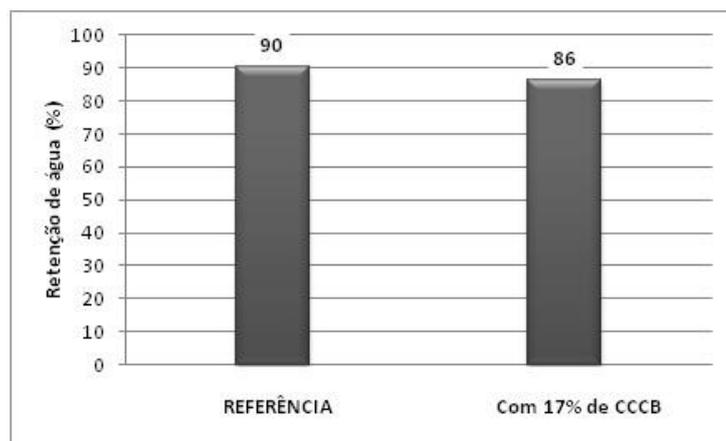


Fonte: Gráfico do autor.

4.3.2 Retenção de Água

Os resultados obtidos no ensaio de retenção de água para a argamassa com adição de 17 % de CCCB em relação à massa do cimento), comparando à argamassa de referência estão representados graficamente na Figura 26.

Figura 26 - Retenção de água da argamassa experimental adicionadas com CCCB a 17%.



Fonte: Gráfico do autor.

Constata-se que houve uma pequena variação na retenção de água após a adição de CCCB, porém essa variação pode ser considerada de pequena relevância, pois segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) ambas as argamassas analisadas são classificadas na mesma classe, U3, ver Tabela 16.

Dada a grande área superficial do resíduo, esperava-se uma tendência ao aumento da retenção de água, que, normalmente, se faz devido ao aumento da superfície específica dos constituintes da argamassa, que foi o ocorrido no presente trabalho, ou utilizando aditivos que por suas características absorvam ou impeçam a percolação de água. No entanto, acredita-se que a adição de 17% tenha sido pouca para enfatizar tal fenômeno, bem como a diferença foi irrisória dentro do erro experimental associado intrinsecamente à metodologia desse ensaio em laboratório.

Tabela 16 - Classificação da retenção de água segundo a NBR 13281.

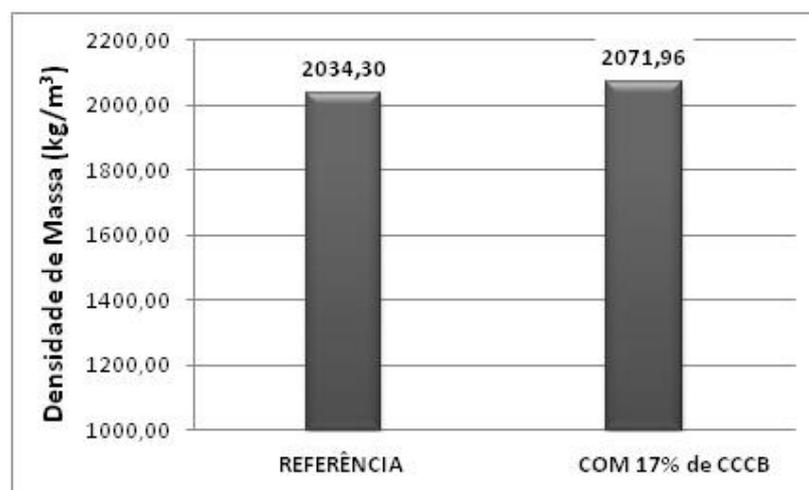
Classe	Retenção de água %	Tipo de argamassa
U1	< 78	
U2	72 a 85	
U3	80 a 90	Referência e com CCCB a 17%
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Fonte: NBR 13281 (ABNT, 2005).

4.3.3 Densidade de Massa

Os resultados referentes à densidade de massa no estado fresco analisadas nessa seção estão graficamente representados na Figura 27 e apresentam uma variação de 1,85% entre as argamassas. Verifica-se que a adição de 17% de CCCB em relação à massa do cimento pouco modificou a densidade do sistema. A variação, devido a sua pequena amplitude, não será considerada significativa.

Figura 27 - Densidade de massa da argamassa experimental adicionadas com CCCB a 17% comparadas com a argamassa de referência.



Fonte: Gráfico do autor.

Em função dos resultados muito semelhantes entre si, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005), ambas as argamassas podem ser classificadas em uma mesma classe, D5, ver

Tabela 17. O fato da densidade de massa ter sido mantida quando da adição da CCCB é extremamente positiva do ponto de vista prático, pois interfere na satisfação e leveza da massa para o pedreiro em aplicar a massa em campo, similar às massas que está acostumado a trabalhar no mercado.

Tabela 17 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa no estado fresco segundo NBR 13281.

Classe	Densidade de Massa no estado fresco (kg/m ³)	Tipo de Argamassa
D1	≤ 1400	
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2200	Referência e com 17% de CCCB
D6	>2000	

Fonte:(ABNT, 2005).

4.3.4 Avaliação da aplicação das argamassas no estado fresco

As argamassas foram aplicadas pelo Sr. Galdino, mestre de obra, em uma superfície previamente chapiscada, conforme ilustrado nas Figuras Figura 28 e Figura 29. De uma forma geral, o mestre atestou como positiva a argamassa com a adição de CCCB para aplicação, dizendo que aplicaria tranquilamente essa argamassa em obra. O Sr. Galdino fez algumas declarações sobre as características da argamassa contendo adição de CCCB, foram elas:

“Boa trabalhabilidade, não precisa de água”.

“Quanto mais vai mexendo, mais ela vai amolecendo”.

“Mesma liga que a primeira (referindo-se a argamassa de referência)”

“Acabamento igual à primeira (referindo-se a argamassa de referência)”

Figura 28 - Aplicação da argamassa de referência, sem adição de CCCB.



Fonte: Figura do Autor.

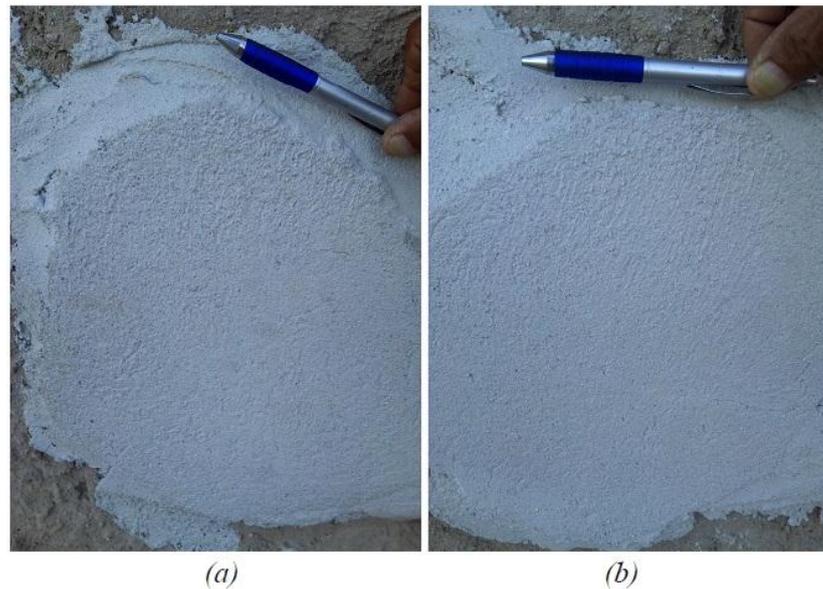
Figura 29 - Aplicação da argamassa contendo adição de CCCB, 17% em relação a massa do cimento.



Fonte: Figura do Autor.

Já no estado endurecido, 3 dias após a aplicação, Figura 30, não foi percebida abertura de fissuras em nenhuma das amostras de argamassas (referência e adicionadas de CCCB). Para verificação rápida da resistência a abrasão, foi aplicado um risco com um prego nas argamassas e não houve desprendimento de material.

Figura 30 - Verificação das argamassas após 3 dias de aplicação, referência (a) e com adição de CCCB (b).



Fonte: Figura do Autor

4.4 Propriedades das argamassas no estado endurecido

- Resistência à compressão e a tração na flexão;
- Densidade de massa;
- Absorção de água, índices de vazios e massa específica;
- Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade;

4.4.1 Resistência à compressão e a tração na flexão

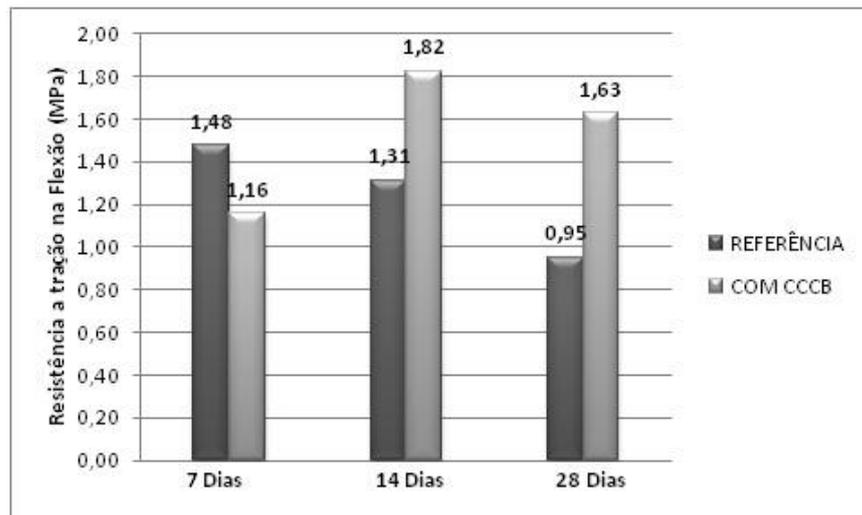
Os resultados referentes às resistências à compressão e à tração na flexão para argamassas com e sem adição de CCCB estão graficamente ilustrados nas Figura 31 e Figura 32, respectivamente.

Ambos os ensaios foram realizados totalmente de acordo com os parâmetros estabelecidos na NBR 13279 (ABNT, 2005), porém os dados resultantes não foram conclusivos, muito provavelmente devido à escala de trabalho da prensa, bastante elevada para estudos com argamassas. Fundamentando o argumento de que os dados expostos não são

representativos, verifica-se que a resistência da argamassa de referência foi caindo à medida que as idades avançam, quando o esperado é que ela cresça à medida que a hidratação do cimento progride.

Entretanto, analisando os resultados podemos ver um pequeno crescimento da resistência à tração na flexão nas argamassas com adição do resíduo, principalmente para 14 e 28 dias. Porém, quanto à classificação da argamassa, conforme a NBR 13281 (2005), novamente todas as argamassas podem ser classificadas em uma mesma classe, a classe R2, conforme a Tabela 18.

Figura 31 - Resistência à tração na flexão para argamassa com e sem adição de CCCB.



Fonte: Gráfico do Autor.

Tabela 18 - Classificação da resistência à tração na flexão segundo a NBR 13281 (2005).

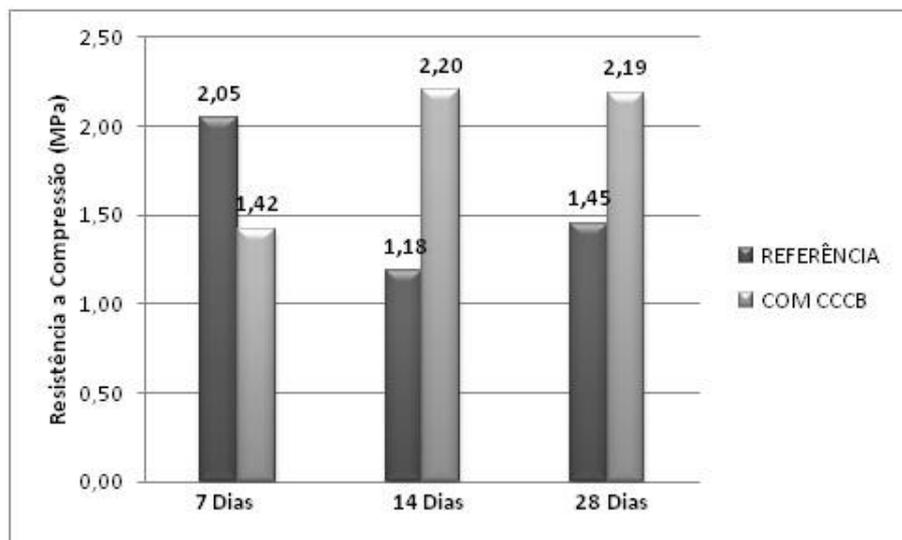
Classe	Resistência a tração na flexão (MPa)	Tipo de argamassa
R1	< 1,5	
R2	1,0 a 2,0	Referência e com 17% de CCCB
R3	1,5 a 2,71	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	> 3,5	

Fonte: (ABNT, 2005).

Avaliando os resultados obtidos, pode-se observar que, na maioria dos casos, as argamassas com adição da cinza apresentaram resultados superiores à argamassa convencional (14 e 28 dias), que provavelmente deve ter sido motivado por ação do efeito *filler*, já que não foram ainda avaliadas as resistências aos 56 dias, para verificação da possibilidade de atividade pozolânica.

Para classificação das argamassas segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) serão desconsiderados os resultados que estão aparentemente fora do intervalo de confiança. Sendo assim, podemos classificar as argamassas como P1, de acordo com a Tabela 19.

Figura 32 - Resistência à compressão para argamassa com e sem adição de CCCB.



Fonte: Gráfico do Autor.

Tabela 19 - Classificação da resistência à compressão segundo a NBR 13281 (2005).

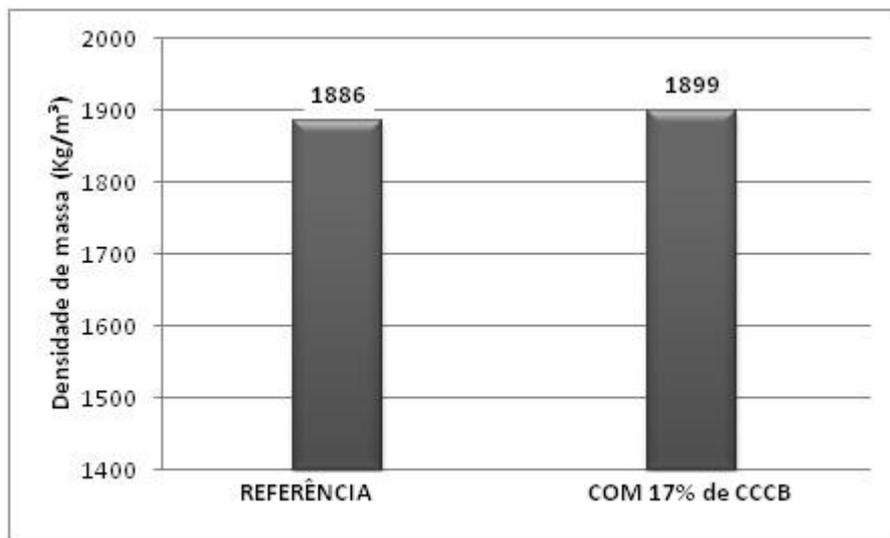
Classe	Resistência a compressão (MPa)	Tipo de argamassa
P1	< 2,0	Referência e com 17% de CCCB
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	> 8,0	

Fonte: (ABNT, 2005).

4.4.2 Densidade de Massa no estado endurecido

Os resultados referentes à densidade de massa no estado endurecido analisadas nessa seção estão graficamente representados na Figura 33. Verifica-se que houve um pequeno aumento na densidade de massa da argamassa com a adição de CCCB, porém insignificante, considerando que o aumento foi inferior a 1%.

Figura 33 - Densidade de massa para o estado endurecido da argamassa experimental adicionadas com CCCB a 17% comparadas com a argamassa de referência.



Fonte: Gráfico do Autor.

De acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2005) ambas as argamassas podem ser classificadas em uma mesma classe, M6, ver Tabela 20.

Tabela 20 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa no estado endurecido segundo NBR 13281.

Classe	Densidade de Massa no estado fresco (kg/m ³)	Tipo de Argamassa
M1	≤ 1200	
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	
M6	>1800	Referência e com 17% de CCCB

Fonte: (ABNT, 2005).

4.4.3 Absorção de água, índices de vazios e massa específica

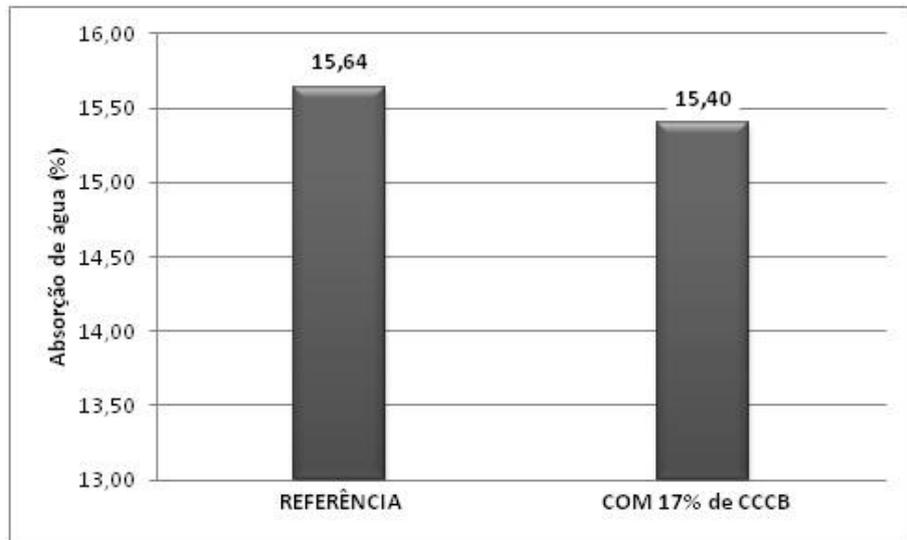
Os dados obtidos através dos ensaios inerentes a esta seção: absorção de água, índices de vazios e massa específica são encontrados graficamente representados nas Figuras

Figura 34, Figura 35 e Figura 36, respectivamente. Verifica-se que os resultados, fazendo uma comparação entre a argamassa de referência e a argamassa contendo adição de CCCB, são praticamente semelhantes entre si. Dessa forma, para absorção de água, índice de vazios e massa específica, a adição das cinzas não alterou o sistema, o que é positivo porque garante a manutenção das propriedades das argamassas mesmo com a adição.

Por outro lado, o efeito *filler* esperado não foi observado na sensibilidade em termos desse parâmetro, como com as cinzas de algaroba utilizadas por Melo (2012) quando a classificou na peneira de 75 µm. Assim, o peneiramento utilizado nessa pesquisa que classificou o resíduo na malha de 150 µm não proporcionou o efeito. Salienta-se, no entanto, que a não observância pode ter sido devido à baixa concentração (17 % em relação à massa de cimento) utilizada em função da perda de consistência. A escolha da malha de 150 µm em

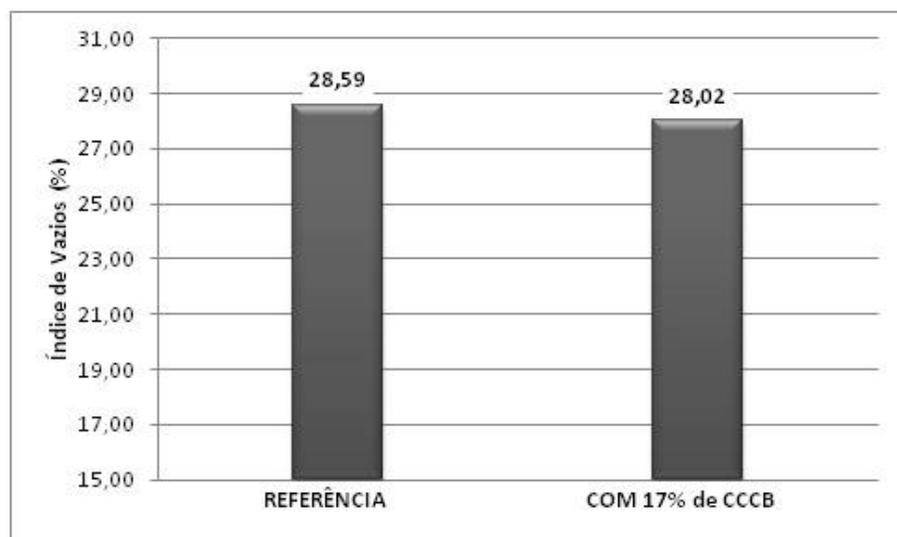
detrimento da de 75 μm nesse caso foi em função da baixa eficiência de obtenção das cinzas, uma vez que era muito baixa para obtenção de partículas menores ou iguais a 75 μm .

Figura 34 - Absorção de água em argamassa com e sem adição de CCCB.



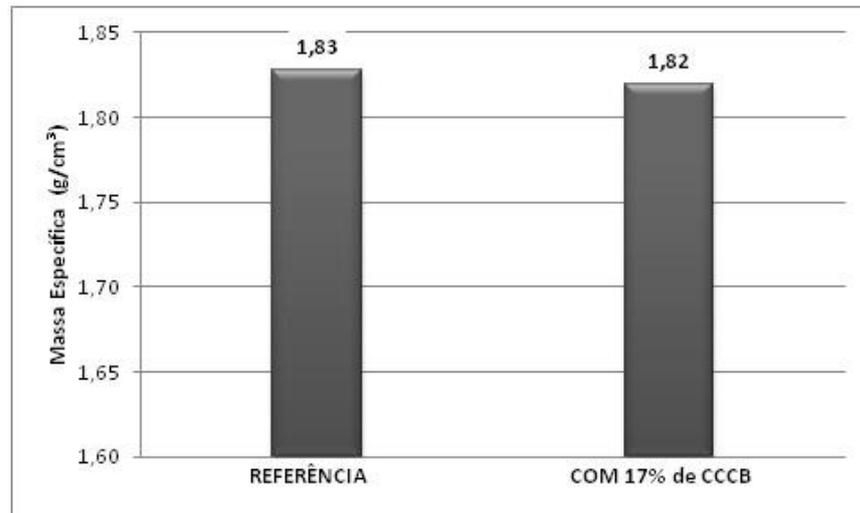
Fonte: Gráfico do Autor.

Figura 35 - Índice de vazios em argamassa com e sem adição de CCCB.



Fonte: Gráfico do Autor.

Figura 36 - Massa específica para o estado endurecido de argamassas com e sem adição de CCCB.



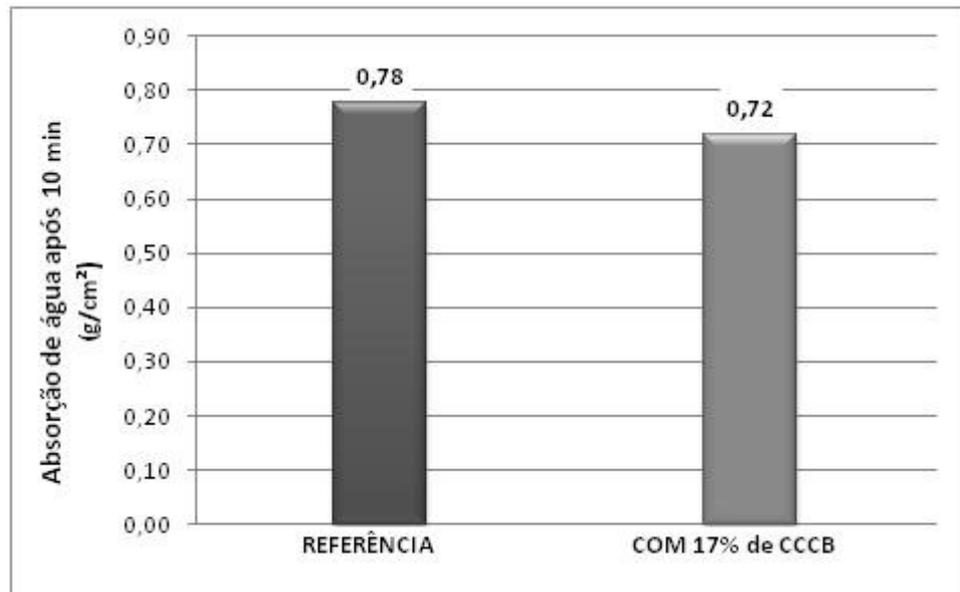
Fonte: Gráfico do Autor.

4.4.4 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

Os resultados referentes à absorção de água por capilaridade, para 10 e 90 minutos, estão ilustrados graficamente através das Figuras Figura 37 e Figura 38, respectivamente. Para os 10 minutos iniciais o comportamento entre as argamassas foi semelhante, porém aos 90 minutos de ensaio, observa-se uma redução na absorção de água para a argamassa com adição de CCCB. Esse fenômeno, possivelmente se dá através da obstrução de parte dos capilares pelas finas partículas da cinza, dificultando a percolação de água na estrutura da argamassa pela redução da quantidade e tamanho dos capilares.

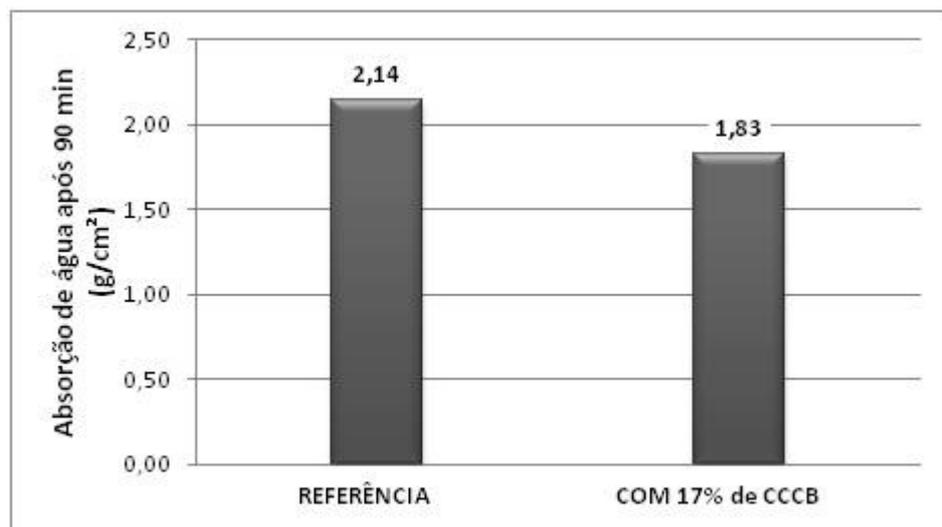
Fundamentando a hipótese de obstrução dos capilares, verifica-se na Figura 39, uma redução de aproximadamente 19% no coeficiente de capilaridade para a argamassa com adição de CCCB.

Figura 37 - Absorção de água por capilaridade de argamassas com e sem adição de CCCB, após 10 minutos.



Fonte: Gráfico do Autor.

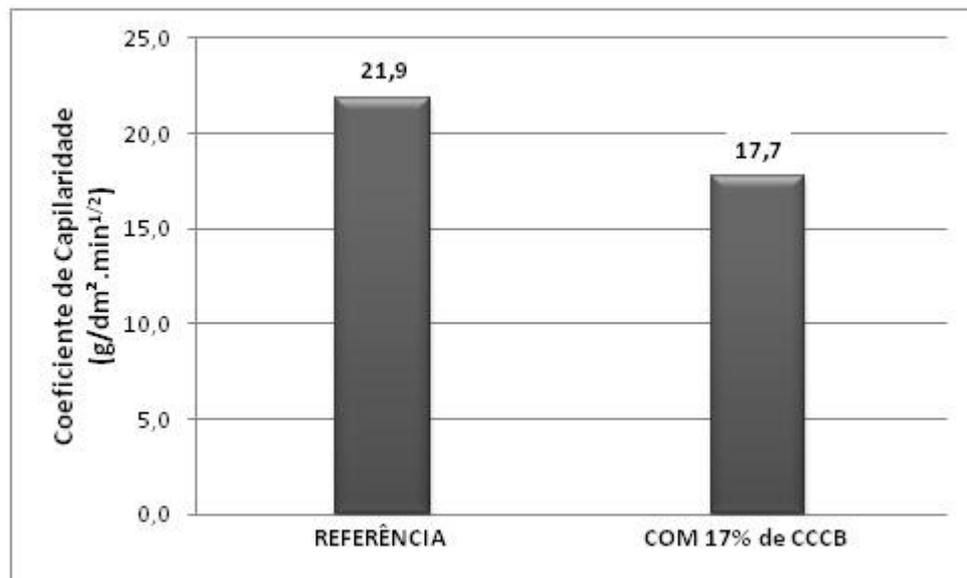
Figura 38 - Absorção de água por capilaridade de argamassas com e sem adição de CCCB, após 90 minutos.



Fonte: Gráfico do Autor.

Cruzando os valores ilustrados na Figura 39 com os vistos na Tabela 21, verifica-se que, segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005) ambas as argamassas ficam dentro da mesma classe, C6.

Figura 39 - Coeficiente de capilaridade de argamassas com e sem adição de CCCB.



Fonte: Gráfico do Autor.

Tabela 21 - Classificação das argamassas segundo o Coeficiente de capilaridade segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005).

Classe	Coeficiente de capilaridade g/dm ² .min ^{1/2}	Tipo de Argamassa
C1	≤ 1,5	
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	> 10,0	Referência e com CCCB a 17%

Fonte: (ABNT, 2005).

5 CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas no presente trabalho, conclui-se a adição de CCCB até 17%, em relação à massa do cimento, em argamassas de revestimento não comprometeu a integridade do composto, tanto para o estado fresco quanto para o endurecido, em algumas situações foi inclusive benéfico ao sistema. É importante ressaltar que uma adição de 17% de CCCB em relação à massa do cimento representa um consumo de 8,5 kg de cinzas para cada saco de 50 kg de cimento utilizado, dando uma destinação sustentável para um resíduo através de sua incorporação na construção civil.

De acordo com a NBR 13271(ABNT, 2005) para cada uma das propriedades estudadas, ambas as argamassas, com e sem adição de CCCB, são definidas como sendo de classes idênticas, são elas U3, D5, R2, P1, M6, C6.

Verificou-se que a adição de CCCB na proporção pesquisada neste trabalho contribuiu de forma discreta, porém não tanto a ponto de ser considerada irrelevante, para a obstrução dos capilares das argamassas, dificultando assim a entrada de água na estrutura do revestimento e, conseqüentemente, contribuindo para uma melhor estanqueidade do sistema.

Ainda é importante salientar que a argamassa com adição de CCCB apresentou características de utilização satisfatórias, como foi verificado na análise prática de aplicação no canteiro de obra.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do trabalho foi verificada a necessidade de estudos adicionais.

- Realizar ensaio de retração no estado fresco e endurecido;
- Verificar a durabilidade de argamassas com adição de CCCB;
- Utilizar prensa com capacidade de carga apropriada para os ensaios de compressão e tração na flexão para argamassas;
- Verificar a resistência potencial de aderência à tração;
- Realizar a verificação de início e fim de pega para argamassas com adição de CCCB.

REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização do cimento portland**. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p.

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland – **História cimento Portland**. Disponível em <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>> acesso em 10 de outubro de 2012)

ALBIERO, D.; MACIEL A. J. S.; LOPES A. C.; MELLO C. A.; GAMERO C. A. **Proposta de uma máquina para colheita mecanizada de babaçu (*Orbignya phalerat* Mart.) para a agricultura familiar**. Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13749. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276. **Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653. **Matériaes Pozolânicos**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281. **Argamassa de Assentamento e Revestimento de paredes e Teto**. Rio de Janeiro, 2005.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215. **Resistência à Compressão do Cimento Portland**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13528. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração.** Rio de Janeiro, 1995.

.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. **agregados para concreto- Especificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BANDUK, R. C.; CEOTTO L. H.; NAKAKURA E.H. **Revestimentos de Argamassas Boas Práticas em Projeto, Execução e Avaliação.** Porto Alegre: ANTAC, 2005 96p.

BASICAL – **Características Cal.** Disponível em < <http://www.basical.com.br/cal.htm>> Acessado em 10 de outubro de 2012.

BAUER E. **Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades.** SINDUSCON-DF, 2005.

BEZERRA I. M. T **Cinza da casca do arroz utilizada em argamassas de assentamento e revestimento.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2010.

BLOGDOCUMENTO - **Imagem nódulo do clínquer de cimento Portland.** Disponível em <<http://blogdocumento.blogspot.com.br/2011/06/clinquer-fonte-eng-helio-farenzena.html>> Acessado em 10 de outubro de 2012.

BORJA, E. V. **Efeito da Adição de Argila Expandida e Adições Minerais na Formulação de Concretos Estruturais Leves Autoadensáveis.** Tese de doutorado apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.

BRAGA, M. B. C. **Desempenho de argamassas com agregados finos provenientes da trituração do betão.** Dissertação de Mestrado pelo Universidade Técnica de Lisboa. Portugal, 2010.

BRIQUETESBIOMASS – **Imagem Briquetes Variados**. Disponível em <<http://briquetesbiomass.blogspot.com.br>> acessado em outubro de 2012.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo, IBRACON, 2007.

CARVALHO E. A.; BRINCK V. **Briquetagem. Comunicação Técnica elaborada para a 4ª Edição do Livro de Tratamento de Minérios**. Rio de Janeiro, 2004.

CARVALHO JR A. N. **Avaliação da Aderência dos Revestimentos Argamassados: Uma Contribuição à Identificação do Sistema de Aderência**. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de Cinzas Ultrafinas do Bagaço de Cana-de-açúcar e da Aasca de Arroz como Aditivos Minerais em Concreto**. Tese de doutorado apresentada ao corpo docente de pós-graduação de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

CHRISTÓFOLLI, J. L. **Estudo de Argilas Calcinadas para a Produção de Cimento Portland Pozolânico na Região de Curitiba - Brasil**. Dissertação de mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Área de Concentração em Ambiente Construído, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

DUART, M. A. **Estudo da Microestrutura do Concreto com Adição de Cinza de Casca de Arroz Residual sem Beneficiamento**. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Materiais de Construção Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFMS, RS). Santa Maria, 2008.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA. **Departamento de Difusão de Tecnologia. Babaçu, Programa Nacional de Pesquisa**. Brasília, 1984.

FAMAAMAZONICA - **Revista Fama Amazônica – Babaçu**. Disponível em <<http://www.famaamazonica.com/editorias/a-z/420-babacu.html>> Acessado em 10 de outubro de 2012.

FARIAS FILHO, J.; ROLIM, J. S. and TOLEDO FILHO, R. D. **Potencialidades da metacaolinita e do tijolo queimado moído como substitutos parciais do cimento Portland.** Rev. bras. eng. agríc. ambient. [online]. 2000

FRANCO F. J. P. **Aproveitamento da Fibra do Epicarpo do Coco de Babaçu em Compósito com Matriz de Epóxi, Estudo do efeito do Tratamento da Fibra.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal – fundamentos e aplicações na engenharia civil.** São Paulo: PINI, 1997. 285p.

HOLSBACH T. S. **Avaliação da Substituição da Areia Natural por Areia Artificial em Argamassa de Cimento, Cal e Areia para Assentamento.** Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2004

IBRACON, **Revista Concreto e Construções Nº53.** Março, 2009. Disponível em <http://www.ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_53.pdf> acessado em 10 de outubro de 2012.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** Volume 2 – 1ª. Edicao. São Paulo, IBRACON, 2007.

LIMA, J. R. O.; SILVA, R. B. S.; SILVA, C. C. M.; SANTOS, L. S. S.; SANTOS JUNIOR, J. R.; MOURA, E. M.; MOURA, C. V. R. **Produção de biodiesel a partir de potenciais oleaginosas do Nordeste.** 2007 Disponível em: <<https://sec.sbq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T1238-1.pdf>> 2007a. Acesso em: 10 outubro de 2012.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo, 1998.

MAGALHAES, A. G. **Caracterização e análise macro e microestrutural de concretos fabricados com cimentos contendo escórias de alto-forno.** Tese de Doutorado pela Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007

MATTOS, L. R. S. **Identificação e caracterização das argamassas para revestimento externo utilizaas na cidade de Belém-PA.** Dissertação de mestrado pelo programa de pós-graduação em engenharia civil da Univerddidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1. Ed. São Paulo: Pini, 1994.

MELO, M. C. S. **Estudos de Argamassas Adicionadas de Cinzas Geradas no APL de Confeções do Agreste Pernambucano.** Dissertação de Mestrado em Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Pernambuco, Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, 2010

METHA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MILANI, A. P. S.; SANTOS, V. P. **Estudo para viabilizar o uso de cinza residual de casca de coco na confecção de produtos à base de cimento Portland.** Mato Grosso do Sul, 2009.

MINASCAL – **Definição cal Hidratada.** Disponível em < <http://www.minascal.com.br/>> acessado em 10 de outubro de 2012.

MONTANHEIRO, T. J., YAMAMOTO, J. K., KIHARA, Y. **Proposta de Pré-Qualificação Pozolânica de Materiais Geológicos: Difractometria de Raios X como Método Alternativo.** Revista do Instituto Geológico. São Paulo, 2003.

MONTAGNER, M. **Estudo do Desempenho de Argamassa de Assentamento Utilizando Areia Artificial, Cal e Aditivo Plastificante.** Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2006

MORAES R. C. **Efeitos Físicos e Pozolânico das Adições Mineraias sobre a Resistência mecânica do Concreto.** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - Rio Grande do Sul, 2001.

NETTO, R. M. **Matériaais Pozolânicos.** Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA, C. M. **Potencial de Biomassa Florestal, Agrícola e Industrial e o Desenvolvimento de Novos Negócios**. Associação Brasileira Das Indústrias de Biomassa Brasil **Biomassa e Energia Renovável**. Disponível em <<http://www.futurafeiras.com.br/admin/wp-content/uploads/2012/05/bio-10H00-Celso-Oliveira.pdf>> acessado em 10 de outubro de 2012.

OLIVEIRA, L. S. **Influência da Cal na Trabalhabilidade e na Resistência Mecânica de Argamassas**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2009.

PARENTE, E. J. de S. **Alternativas tecnológicas para o processamento do coco babaçu e sub-produtos**. In: Workshop babaçu: alternativas políticas, sociais e tecnológicas para o desenvolvimento sustentável. Anais. São Luis, 2003.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

POSSER, N. D. **Proporcionamento de Argamassas para Reboco de Recuperação**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2004.

QUIRINO, W. F. **Caracterização e Homogeneização de Biomassa: Compactação e Trituração. Curso de Gasificação de Biomassa**. Disponível em <http://redenacionaldecombustao.org/escoladecombustao/arquivos/EDC2009/gaseificacao/gas_capitulo_2.pdf> São José dos Campos, 2009. Acessado em 10 de outubro de 2012.

REMADE - **Redução do volume de biomassa no processo de briquetagem**. Disponível em <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1419&subject=E%20mais&title=Redu%20E7%E3o%20do%20volume%20de%20biomassa%20no%20processo%20de%20briquetagem> Novembro de 2009. Acessado em 10 de outubro de 2012.

SABBATINI F. H. **Tecnologia de Execução de Revestimentos de Argamassas**. Simpósio de aplicação da tecnologia do concreto, 13, São Paulo, Brasil, 1992.

SANTOS, H. B. **Ensaio de Aderência das Argamassas de Revestimento**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil pela Escola de Engenharia da UFMG. Dezembro, 2008.

SANTOS E SILVA A. P. **Caracterização físico-química e toxicológica do pó de mesocarpo do babaçu (*Orbignya phalerata* Mart): subsidio para o desenvolvimento de produtos.** Dissertação de Mestrado em Ciências Farmacêuticas, submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas pela Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2011.

SCANDOLARA, J. P. **Propriedades de argamassas obtidas pela substituição parcial de cimento portland por rejeitos particulados de tijolos.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas CCT. Joinville, 2010.

SILVA, A. J. **Extrativismo do coco babaçu (*Orbignya phalerata*, Mart.) no município de Miguel Alves-PI: caminhos para o desenvolvimento local sustentável.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2011.

SILVA D. S. **Estudo Comparativo dos Métodos de Produção de Argamassas de Revestimento Utilizados em Obras do Município de Tubarão.** Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, 2008.

SILVA, M. G. **Cimentos Portland com adições minerais.** In: ISAIA, G. C. (ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.* São Paulo: IBRACON, 2007.

SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

SIQUEIRA, J. S **Reciclagem de Resíduo a partir de cinzas de carvão mineral: Produção de Argamassas.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará. Belém, 2011

SENNA, F. A. B. **Influencia do Substrato em Argamassa no Desempenho do Revestinto em pintura Texturizada Acrílica.** Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

TARTUCE, R.; GIOVANNETTI, E. **Princípios Básicos Sobre Concreto de Cimento Portland**. São Paulo: PINI: IBRACON, 1999.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. 2 ed. London: Thomas Telford, 1997.

TEXSA – **Definição de Aditivos**. Disponível em <<http://www.texsa.com.br/Livro%2003.html>> Acessado em 10 de outubro de 2012.

TORRES, J. D. **Nanosílica modificada com ácido carboxílico para liberação controlada de herbicidas**. Dissertação de Mestrado em Química apresentada ao Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Aglomerantes**, 20p. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmundo/Aglomerantes.pdf> Acesso em: 03 de outubro de 2012.

VIEIRA, A., A., P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005.