



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

BRUNO DE MELO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
ADICIONADAS COM CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR
COMPRESSADO (BRIQUETE)**

Caruaru, 2012

BRUNO DE MELO SILVA

**DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
ADICIONADAS COM CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR
COMPRESSADO (BRIQUETE)**

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2.

Área de concentração: Construção Civil

Orientadora: Prof. Dra. Ana Cecília Vieira da Nobrega

Caruaru, 2012

Catálogo na fonte
Bibliotecária Simone Xavier CRB4 - 1242

S586d Silva, Bruno de Melo.
Desenvolvimento de argamassas de revestimento adicionadas com cinzas de
bagaço de cana-de-açúcar (comprimado) Briquete. / Bruno de Melo Silva. - Caruaru:
O Autor, 2012.
60f ; il.; 30 cm.

Orientadora: Ana Cecília Vieira da Nóbrega
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Per-
nambuco, CAA. Engenharia Civil, 2012.
Inclui bibliografia

1. Argamassa. 2. Briquete. 3. Cana de açúcar. I. Nóbrega, Ana Cecília Vieira
da (orientador). II. Título.

620 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2012-131)

Bruno de Melo Silva

DESENVOLVIMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO
ADICIONADAS COM CINZAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR
COMPRESSADO (BRIQUETE)

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2.

Área de concentração: Construção Civil

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato BRUNO DE MELO SILVA APROVADO COM NOTA 9,0.

Caruaru, 12 de abril de 2013.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Ana Cecília Vieira da Nobrega
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientadora)

Profa. Dra. Erika Pinto Marinho
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Prof. Dr. Flavio Eduardo Gomes Diniz
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Prof. Elder Alpes de Vasconcelos
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenador da disciplina)

Dedico esse trabalho a minha família e especialmente a minha avó Lindalva Isabel, que sempre me incentivaram a estudar e dar o melhor de mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado condições de estar aqui hoje, sempre me iluminar e proteger em todos os momentos da minha vida.

A toda minha família, pelo incentivo, em especial à minha mãe e ao meu pai que sempre me deram condições para que eu alcançasse os meus objetivos. Aos meus avós, meus irmãos, minhas tias e tios, meus primos.

A Prof. Dr.^a Ana Cecilia que muito me ajudou em todas as fases deste trabalho.

A todos os meus professores por compartilhar os seus conhecimentos.

Ao Professor Flavio Diniz que esteve sempre presente, desde o meu primeiro dia de aula até o presente momento onde se encontra na banca examinadora, sempre ajudando quando lhe era pedido.

Aos meus colegas de turma que muito me ajudaram em todos os anos da graduação. A Mariana e a Paloma por colaborar com seus materiais de estudos. A Caio e Tasso pelo papel fundamental na colaboração durante o TCC.

A Lyneker por sua colaboração com parte de seu projeto.

A Tiago, proprietário da panificadora Barreto, por ter cedido as cinzas utilizadas no estudo.

"O primeiro passo para o conhecimento é sabermos que somos ignorantes." Cícero.

RESUMO

Desenvolvimento de argamassas de revestimento adicionadas com cinzas de bagaço de cana-de-açúcar comprimido (briquete)

Existe no agreste de Pernambuco um polo de confecções de grande importância econômica para a região, as indústrias desse polo utilizam a lenha como principal fonte de energia para algumas de suas atividades. Existe no ITEP (Instituto Tecnológico de Pesquisa de Pernambuco), unidade Caruaru, um estudo em andamento para a utilização de outra fonte de energia em substituição a lenha, pouco utilizada na região, o briquete de cana de açúcar. Uma grande quantidade de cinzas é o resíduo final dessas atividades. Este TCC tem como objeto de estudo a adição de cinzas de briquete de cana de açúcar em argamassas de revestimento, a fim de analisar se essas cinzas têm propriedades pozolânicas e/ou se elas contribuem para o efeito filler na produção da argamassa. Argamassas com até 19% de adição mantiveram as propriedades nos estados fresco e endurecido da argamassa de referência. Absorção de água total e por capilaridade foram os parâmetros melhorados.

Palavras-chave: Argamassa; Cinza; Cana de açúcar; Pozolâna; Briquete

ABSTRACT

Development mortar coating added with ash bagasse`s sugar cane compressed (briquette)

There is a local productive arrangement on the clothing industry in the Agreste Region of Pernambuco, that use wood as the main energy source from combustion in the laundries. In this way, ITEP (Research Technological Institute of Pernambuco), Caruaru unit, studies the use of sugar cane briquette. A large amount of ashes is generated of these activities. This research aim to study the addition of sugar cane briquette ashes in mansory mortars, in order to analyze whether these ashes have pozzolanic properties and/or if they contribute to the filler effect in the production of the mortar. Mortar using up to 19% of ashes had similar fresh and hardened properties that eh reference one. Water absorption and capillary water absorption were improved parameters.

Keywords: Mortar; Ash; Sugarcane; Pozzolanic; briquette

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ca(OH)₂	Hidróxido de cálcio
CBC	Cinza de bagaço de cana
CPqDCC-EPUSP	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
C-S-H	Silicato de cálcio hidratado
DRX	Difração de Raios x
FRX	Fluorescência de Raios x
GPEMAT	Grupo de Pesquisa em Estruturas e Materiais
ITEP	Instituto Tecnológico de Pesquisa de Pernambuco
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NBR	Norma Brasileira Registrada
pH	Potencial hidrogeniônico
Ra	Limite de Resistência de Aderência à Tração

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Esquema da ancoragem da argamassa na base de aplicação.....	20
Figura 02 - Briquete de bagaço de cana.....	24
Figura 03 - Briquete de madeira.....	24
Figura 04 - Fluxograma das etapas e ensaios realizados na pesquisa.....	27
Figura 05 - Atividade Pozolânica das cinzas de briquete de cana de açúcar em diversas temperatura de queima.....	30
Figura 06 - Argamassadeira misturando a argamassa.....	32
Figura 07 - Argamassas nos moldes ao ar livre.....	33
Figura 08 - Medição do espalhamento.....	34
Figura 09 - Conjunto montado com argamassa já rasada dentro do prato.....	35
Figura 10 - Produção da argamassa na obra.....	37
Figura 11 - Sr. José Galdino aplicando as argamassas em parede previamente chapiscada....	37
Figura 12 - corpos-de-prova de referência durante o ensaio.....	39
Figura 13 - corpos de prova em recipiente com água em ebulição.....	40
Figura 14 - pesagem de corpo de prova na balança hidrostática.....	41
Figura 15 - Ensaio de flexão bi-apoiado.....	42
Figura 16 - corpo de prova após ensaio de tração na flexão.....	43
Figura 17 - ensaio de resistência a compressão.....	43
Figura 18 - Corpo de prova após ensaio de compressão.....	44
Figura 19 - Consistência normal das argamassas nas proporções de 0, 20, 30, 40 50%.....	46
Figura 20 - Resultados retenção de água das argamassas.....	47
Figura 21 - Resultados densidade de massa das argamassas.....	48
Figura 22 - Argamassas logo após aplicadas na parede.....	49
Figura 23 - Resultados densidade de massa no estado endurecido das argamassas.....	50
Figura 24 - Resultado absorção de água por capilaridade após 10 minutos das argamassas..	51
Figura 25 - Resultados absorção de água por capilaridade após 90 minutos das argamassas.	51
Figura 26 - Resultados coeficiente de capilaridade de massa das argamassas.....	52
Figura 27 - Resultados absorção de água das argamassas.....	53
Figura 28 - Resultados índice de vazios das argamassas.....	53
Figura 29 - Resultados massa específica das argamassas.....	54
Figura 30 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão.....	55
Figura 31 - Resultados do ensaio de resistência à compressão.....	55
Figura 32 - a) argamassa modificada depois de 5 dias de aplicada. b) argamassa sem adição de cinzas após 5 dias de aplicada.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Limites de resistência de aderência à tração.....	21
Tabela 02 - Exigências mecânicas e reológicas das argamassas.	22
Tabela 03 - Características químicas do cimento.	28
Tabela 04 - Características físicas do cimento.	29
Tabela 05 - Distribuição granulométrica da areia.....	30
Tabela 06 - Curva granulométrica da areia utilizada.	31
Tabela 07 - Características físicas da areia.	31
Tabela 08 - Conversão do traço em volume para traço em massa.....	45
Tabela 09 - Classificação da retenção de água NBR 13281 (2005).	47
Tabela 10 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa no estado fresco NBR 13281 (2005).....	48
Tabela 11 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa no estado endurecido NBR 13281 (2005).....	50
Tabela 12 - Classificação das argamassas segundo o coeficiente de capilaridade - NBR 13281 (2005).....	52

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	35
Equação 2	36
Equação 3	38
Equação 4	39
Equação 5	39
Equação 6	41
Equação 7	41
Equação 8	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO	18
3.1	ARGAMASSA	18
3.1.1	Atividade pozolânica	18
3.1.2	Efeito <i>filler</i>	18
3.2	PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	19
3.2.1	Massa específica e teor de ar incorporado	19
3.2.2	Trabalhabilidade	19
3.2.3	Retenção de água	19
3.2.4	Aderência inicial	20
3.3	PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	20
3.3.1	Aderência	20
3.3.2	Capacidade de absorver deformações	21
3.3.3	Resistência mecânica	22
3.3.4	Permeabilidade	22
3.4	BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMPRESSADO (BRIQUETE)	23
3.5	ESTADO DA ARTE	25
4	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	27
4.1	MATERIAL DE PARTIDA	28
4.1.1	Cimento Portland	28
4.1.2	Cal	29
4.1.3	Cinzas	29
4.1.4	Avaliação do índice de atividade pozolânica das cinzas	29
4.1.5	Agregado miúdo	30
4.2	PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS	31
4.2.1	Desenvolvimento das formulações	31
4.2.2	Preparo das argamassas	32
4.2.3	Moldagem dos corpos de prova	33
4.3	AVALIAÇÃO NO ESTADO FRESCO	33
4.3.1	Índice de consistência	33
4.3.2	Retenção de água	34
4.3.3	Densidade de massa	36
4.3.4	Aplicação em obra	36
4.4	AVALIAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO	38
4.4.1	Massa aparente	38
4.4.2	Absorção de água por capilaridade	38
4.4.3	Absorção de água, índice de vazios e massa específica	40
4.4.4	Resistência à compressão e à tração na flexão	42
5	RESULTADOS	45
5.1	CINZA	45
5.1.1	Determinação da atividade pozolânica das cinzas	45
5.2	DEFINIÇÃO DO TRAÇO DA ARGAMASSA	45
5.3	PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	45
5.3.1	Índice de consistência	45
5.3.2	Retenção de água	46
5.3.3	Densidade de massa	47
5.3.4	Aplicação em obra – estado fresco	48
5.4	PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO	50
5.4.1	Massa aparente	50
5.4.2	Absorção de água por capilaridade	51

5.4.3	Absorção de água, índice de vazios e massa específica	52
5.4.4	Resistência à compressão e a tração na flexão.....	54
5.4.5	Aplicação em obra – estado endurecido.....	56
6	CONCLUSÕES.....	57
7	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

No agreste Pernambucano alguns segmentos industriais de grande importância econômica para a região como o polo de confecções utiliza a lenha como principal fonte de energia para suas atividades. A lenha é intensamente usada nas mais de 240 lavanderias da região que a utilizam como combustível para aquecer a água no processo de tingimento do jeans e também na indústria de cerâmica vermelha, onde é utilizada também como combustível para os fornos de tratamento térmico.

Há no ITEP (Instituto Tecnológico de Pesquisa de Pernambuco), unidade Caruaru, um estudo em andamento para a utilização de outra fonte de energia, pouco utilizada na região. O briquete de cana de açúcar, que possui potencial para substituir a lenha tradicional e pode ser que venha a ter um maior valor energético, podendo gerar um desenvolvimento mais sustentável para o agreste. O briquete também é conhecido como “lenha ecológica” por se tratar de cilindros de materiais prensados. No caso do briquete de cana-de-açúcar, é utilizado bagaço seco como insumo, que é um resíduo da indústria do açúcar/álcool gerado em grande quantidade no estado. O ITEP-Caruaru possui uma lavanderia piloto com queimador de caldeira alimentado com briquetes de cana-de-açúcar (NOBREGA, 2010).

Tanto na queima da lenha tradicional quanto na “lenha ecológica” uma grande quantidade de cinzas é gerada. Essa cinza geralmente não tem nenhuma utilidade para tais indústrias e é descartada no meio ambiente sem receber nenhum controle quanto a sua disposição final. Justificando assim estudos para seu reaproveitamento.

O Grupo de Pesquisa GPEMAT - Grupo de Pesquisa em Estruturas e Materiais – UFPE, que também inclui as atividades do Laboratório de Construção Civil do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, vem estudando a adição de cinzas de lenha coletadas em lavanderias da região, para o desenvolvimento de argamassas.

Existe na literatura trabalhos voltado para analisar em quais condições é possível encontrar atividade pozzolânica em cinzas de bagaço de cana (GOBBI *et al.*, 2010; MACEDO, 2009), dada sua composição sílico-aluminosa de caráter parcialmente amorfo, que, ao depender da temperatura e condições de granulometria, é capaz de promover atividade pozzolânica (NOBREGA, 2010).

É importante chamar atenção para o fato de que as cinzas utilizadas nesse trabalho não são provenientes de bagaço de cana de açúcar em estado normal e sim de bagaço de cana comprimido (briquete) e por isso provavelmente terá um comportamento diferenciado.

O benefício se essas cinzas apresentarem comportamento pozolânico é que poderia se utilizar as cinzas em substituição de parte do cimento Portland na composição das argamassas e produtos cimentícios, garantindo as mesmas propriedades de resistência e trabalhabilidade, reduzindo assim o preço de produtos oriundo de tal e ainda contribuindo com o meio ambiente já que a indústria cimentícia contribui bastante com o aquecimento global. Outra utilização para as cinzas é a substituição de parte dos agregados (areia), que poderá ser muito benéfico ao sistema se esse vier a produzir um efeito filler ao mesmo.

O comportamento de efeito *filler* está intimamente ligado à granulometria da cinza, uma vez que a adição de partículas menores, quando da hidratação do cimento Portland e da formação da sua fase estrutural, elas ficam aprisionadas na matriz e entre os interstícios dos cristais de Portlandita fazendo com que diminua a porosidade e permeabilidade, bem como aumente a compacidade do meio (MEHTA, 1994, *apud* NOBREGA, 2010). Assim, a durabilidade tende a aumentar, porque as cinzas são mais finas e preenchem melhor os poros do material cimentício. O resultado final é um material ainda mais compacto, com menor porosidade e permeabilidade e maior resistência à compressão, em função de uma matriz cimentícia mais densa (NOBREGA, 2010).

A argamassa de revestimento será o objeto de estudo já que dentre os vários elementos da construção civil esse em especial é muito adequado quando se pensa em absorção de resíduos, pois o mesmo não precisa ter uma alta resistência estrutural. Ele precisa ser pouco permeável e poroso. O efeito *filler* é ideal para essa situação. Se pensarmos em absorção do mercado, argamassas é um nicho que se adaptaria muito rápido a adição de resíduos, em contrario ao concreto onde as empresas tem receio em utilizar novas tecnologias dadas a sua importância estrutural em todas as partes da obra.

Nesse cenário, pretende-se desenvolver argamassas de revestimento adicionadas de cinzas de briquetes de cana-de-açúcar geradas na cidade de Caruaru, no agreste pernambucano. O sucesso das pesquisas refletirá não só no meio-ambiente, mas também no Arranjo Produtivo Local de confecções, uma vez que poderá associar as cinzas de briquete uma vantagem a mais que o poder energético em relação à lenha de algaroba, o de promover melhores propriedades em materiais de construção, quando reutilizados. De uma forma gera a redução de custos dos materiais cimentícios da indústria da construção civil local será também um benefício do sucesso do presente trabalho de conclusão de curso.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo desse estudo é o desenvolvimento de argamassas de revestimento para uso na construção civil com a adição de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar comprimido (briquete).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar, em termos físico-químicos as cinzas de bagaço de cana-de-açúcar comprimido (briquete);
- Avaliar a pozolanicidade das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar comprimidas (briquete);
- Formular argamassas com a adição de cinza de bagaço de cana-de-açúcar comprimidas (briquete) e com propriedades adequadas para uso como revestimento na construção civil;
- 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).
- Avaliar micro estruturalmente os compósitos.

3 REVISÃO

3.1 ARGAMASSA

De acordo com a NBR 7200/1998 argamassa é uma mistura homogênea de agregado miúdo (geralmente a areia), aglomerante (cimento, cal, saibro, barro) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.

Tem 3 finalidades distintas para o uso das argamassas, pode ser utilizada como assentamento para unir os blocos ou tijolos das alvenarias (argamassa de assentamento), para revestimento de superfícies (argamassa de revestimento) e por último como assentamento de azulejos, ladrilhos e cerâmicas de revestimento (argamassas de assentamento de revestimento).

As propriedades das argamassas em seu estado fresco e endurecido são de grande importância para o bom desempenho de argamassas.

3.1.1 Atividade pozolânica

Segundo NOBREGA (2010) atividade pozolânica é a capacidade que a substância possui de reagir com o Ca(OH)_2 residual durante as reações de cimento e evitando que seja formada Portlandita, que por seus cristais grandes e solúveis, é prejudicial ao comportamento do sistema como um todo em termos de resistência e porosidade. Por outro lado, a suposta substância com atividade pozolânica, ao reagir com o Ca(OH)_2 disponível, é capaz de gerar mais matriz C-S-H, a matriz de maior presença, densa e fechada do sistema, responsáveis por resistência e baixa porosidade.

3.1.2 Efeito *filler*

Efeito *filler* é a diminuição da porosidade do sistema promovido pelo preenchimento dos vazios. Se dá pelo aprisionamento de partículas minúsculas que ocupam os vazios que existem no meio. Quando acontecem as reações químicas de hidratação do cimento Portland cristais são formados e vazios surgem entre eles, o preenchimento desse vazio por partículas pequenas se dá o nome de efeito *filler*.

O efeito *filler* é muito bom para as argamassas, pois forma uma argamassa menos porosa e permeável, o efeito *filler* também contribui visivelmente quando analisado a olho nu o acabamento da argamassa, essa argamassa fica mais lisa (um acabamento mais fino) ideal para quando se utiliza a argamassa como revestimento de acabamento.

3.2 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

3.2.1 Massa específica e teor de ar incorporado

A massa específica é a relação entre a massa da argamassa e o seu volume, pode ser relativa ou absoluta. Na determinação da massa específica absoluta, não são considerados os vazios existentes no volume de argamassa. Já na 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.

O teor de ar é a quantidade de ar existente em um determinado volume de argamassa. À medida que cresce o teor de ar, a massa específica relativa da argamassa diminui.

De acordo com Maciel e col. (1998) essas duas propriedades vão interferir em outras propriedades da argamassa no estado fresco, como a trabalhabilidade, que será tratada a seguir. Uma argamassa com menor massa específica e maior teor de ar, apresenta melhor trabalhabilidade.

3.2.2 Trabalhabilidade

É uma propriedade de avaliação qualitativa. Uma argamassa é considerada trabalhável quando:

- Deixa penetrar facilmente a colher de pedreiro, sem ser fluida;
- Mantém-se coesa ao ser transportada, mas não adere à colher ao ser lançada;
- Distribui-se facilmente e preenche todas as reentrâncias da base;
- Não endurece rapidamente quando aplicada.

De acordo com Lourenci (2003) a trabalhabilidade em termos práticos seria a facilidade de manuseio por parte do operário que a aplica sendo alterada à medida que decresce o módulo de finura do agregado, mantém-se a continuidade da granulometria e decresce o teor de grãos angulosos.

3.2.3 Retenção de água

Segundo Maciel e col. (1998) representa a capacidade da argamassa reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação. A retenção permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativas, promovendo a adequada hidratação do cimento e conseqüente ganho de resistência.

A rápida perda de água compromete a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica e, com isso, a durabilidade e a estanqueidade do revestimento e da vedação ficam comprometidas.

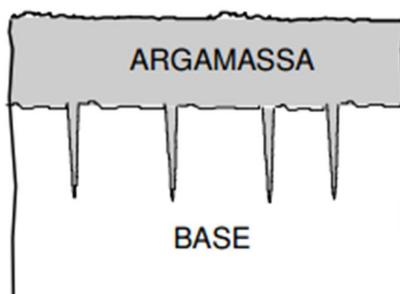
De acordo com Lourenci (2003) a retenção de água seria a capacidade que a argamassa fresca tem de manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água (evaporação, sucção, absorção pelo componente da mistura).

3.2.4 Aderência inicial

Aderência inicial é a capacidade que a argamassa no estado fresco tem de aderir, ancorar na base em que está sendo aplicada.

Maciel e col. (1998) ressalta que a aderência inicial depende: das outras propriedades da argamassa no estado fresco; das características da base de aplicação, como a porosidade, rugosidade, condições de limpeza; da superfície de contato efetivo entre a argamassa e a base.

Figura 1- Esquema da ancoragem da argamassa na base de aplicação.



Fonte: Maciel e col., (1998).

3.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

As propriedades da argamassa no estado endurecido equivalem às propriedades do próprio revestimento.

3.3.1 Aderência

É a propriedade do revestimento manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa.

Segundo Maciel e col. (1998) a aderência depende: das propriedades da argamassa no estado fresco; dos procedimentos de execução do revestimento; da natureza e características da base e da sua limpeza superficial.

A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração. De acordo com a norma NBR 13749 (ABNT, 1996), o limite de resistência de aderência à tração (R_a) para o revestimento de argamassa (emboço e massa única) varia de acordo com o local de aplicação e tipo de acabamento, conforme a Tabela abaixo.

Tabela 1- Limites de resistência de aderência à tração.

Local	Acabamento		R_a (MPa)
Parede	Interno	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externo	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,30$

Fonte: ABNT, 1996.

3.3.2 Capacidade de absorver deformações

De acordo com Baía (2002) a capacidade de absorver deformações como a propriedade da argamassa, já endurecida, suportar as tensões sem romper, sem apresentar fissuras prejudiciais e sem perder a aderência. Tais fissuras são consideradas prejudiciais quando possibilitam a percolação de água pelo revestimento.

Segundo Maciel, e col. (1998) a capacidade de absorver deformações depende:

- Módulo de deformação da argamassa - quanto menor for o módulo de deformação (menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações;
- 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;
- Juntas de trabalho do revestimento - as juntas delimitam panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações, contribuindo para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais;
- 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

te a aderência, a estanqueidade, o acabamento superficial e a durabilidade do revestimento.

3.3.3 Resistência mecânica

De acordo com Baía (2002) a resistência mecânica é definida como uma propriedade dos revestimentos de suportarem as ações mecânicas de diferentes naturezas, devidas a abrasão superficial, ao impacto e à contração termoigroscópica.

Maciel e col. (1998) comentam que a propriedade depende do consumo e da natureza dos agregados e aglomerantes da argamassa empregada e da técnica de execução, que busca a compactação da argamassa durante a sua aplicação e acabamento.

A norma NBR 13279 (2005) descreve o método para a determinação da resistência à compressão de argamassas para assentamento e revestimentos de paredes e tetos, no estado endurecido. A NBR 13281 (ABNT, 2001) prescreve que os requisitos mecânicos e reológicos das argamassas devem estar em conformidade com as exigências indicadas na tabela abaixo.

Tabela 2 - Exigências mecânicas e reológicas das argamassas.

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

Fonte: ABNT, 2001.

3.3.4 Permeabilidade

De acordo com Baía (2002) permeabilidade é a propriedade do revestimento relaciona a passagem de água pela camada de argamassa, que é um material poroso e permite a percolação da água tanto no estado líquido como no de vapor.

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, Maciel e col. (1998).

3.4 BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COMPRESSADO (BRIQUETE)

Em 1848 foi concedida uma patente para William Easby nos Estados Unidos para um método de conversão de carvão miúdo em torrões sólidos, através da pressão. A justificativa de Easby feita há 160 anos para a patente era de que um artigo de pequeno valor, quase desprezível, pode ser convertido em um artigo valioso como combustível para navios a vapor, forjas, culinária e outras finalidades economizando o que agora era perdido (O processo de briquetagem, 2005, *apud* GENTIL, 2008).

Em Paris, 14 anos após a patente de Easby, surgiu a palavra briquette como sendo uma mistura de turfa, água e argila plástica. Nas décadas seguintes, o carvão mineral recebeu não só adensamento dos componentes como temperatura para formar um combustível sólido. Os briquetes que tinham aglomerantes eram denominados “pérats”, feitos de carvão betuminoso misturado com alcatrão. Desta época para cá, a tecnologia do briquete de madeira avançou lentamente transformando-se em um biocombustível sólido com apelo ambiental (Brown coal as fuel, 2005, *apud* GENTIL, 2008).

Segundo Gentil (2008), o briquete de madeira é uma peça sólida de serragem ou maravalha comprimida com uma carga média de 6 tf a 8 tf, tensão de 90 kg/cm² a 145 kg/cm². Gerando uma temperatura de 170°C a 270°C na câmara de briquetagem para a decomposição parcial da lignina (efeito termoplástico), teor de umidade base úmida de 5% a 15% sendo o ótimo 8%, com ou sem aglutinante, com uma densidade entre 1,0 t/m³ a 1,5 t/m³, apresentado em peças cilíndricas ou hexagonais de cerca de 70 mm a 100 mm de diâmetro e comprimento de 10 cm a 40 cm.

Existe no mercado briquetes feitos a partir de serragem, casca de arroz, casca de algodão, bagaço de cana, casca de café, casca de cocô e inúmeros outros insumos. A forma de fabricação desses briquetes é praticamente a mesma, a diferença está no insumo base, serragem ou maravalha casca de arroz, bagaço de cana de açúcar.

Figura 2- Briquete de bagaço de cana.



Fonte: Foto do autor.

Figura 3- Briquete de madeira.



Fonte: Foto do autor.

As mais de 240 lavanderias de jeans do polo de confecções do agreste pernambucano utilizam lenha de madeira principalmente algaroba, como fonte de energia para suas caldeiras. A substituição dessa lenha pela lenha ecológica será um grande passo para um desenvolvimento mais sustentável da região.

Pesquisas mostram que briquetes tem várias vantagens em relação a lenha convencional, por exemplo os briquetes apresentam alto poder calorífico, maior temperatura de chama, regu-

laridade térmica, facilidade no manuseio, menor espaço de armazenamento, menor índice de poluição e que também é um combustível ecologicamente correto pois diminui o desmatamento.

3.5 ESTADO DA ARTE

Paula (2006), estudou a substituição parcial do cimento Portland por cinza do bagaço de cana de açúcar em argamassas, a CBC (Cinza de Bagaço de Cana) que foi um resíduo oriundo da usina Jatiboca, localizada no município de Uracânia-MG. Foram analisadas substituições de 10%, 20% e 30% em peso. Com relação ao estudo de início e fim de pega, ele observou que as adições de CBC acarretaram um retardo de 10 min no intervalo entre os tempos de pega. Os resultados encontrados para os índices de atividade pozolânica comprovaram reatividade da CBC. Com relação à massa específica, a substituição de até 30% de cinzas na mistura não houve mudança significativa. No que se referem aos ensaios mecânicos de compressão das argamassas os resultados indicaram a possibilidade de substituição de até 20% do cimento pela CBC sem perda de resistência.

Anjos (2009), realizou estudo da adição do resíduo de biomassa da cana de açúcar moída em pastas para cimentação. A adição foi realizada com teores de 10, 20, 30, 40 e 59% em relação à massa do cimento. Verificou que a cinza de biomassa de cana de açúcar apresenta reação pozolânica, teve grande eficiência na diminuição da permeabilidade da pasta apresentando efeito *filler*. Nas adições com teores de 10, 20 e 30% aumentaram a resistência à compressão das pastas curadas a baixas temperaturas.

Segundo Soares (2010), dependendo do tipo de solo utilizado, da espécie de cana cultivada e das condições de queima do bagaço, as características físico-químicas dessas cinzas se alteram, tornando-as adequadas ou não para o uso em matérias cimentícias. Em seus estudos foram obtidos resultados que indicam que as características físico-químicas das cinzas dependem significativamente do grau de contaminação do bagaço pela areia do solo e da granulometria das cinzas.

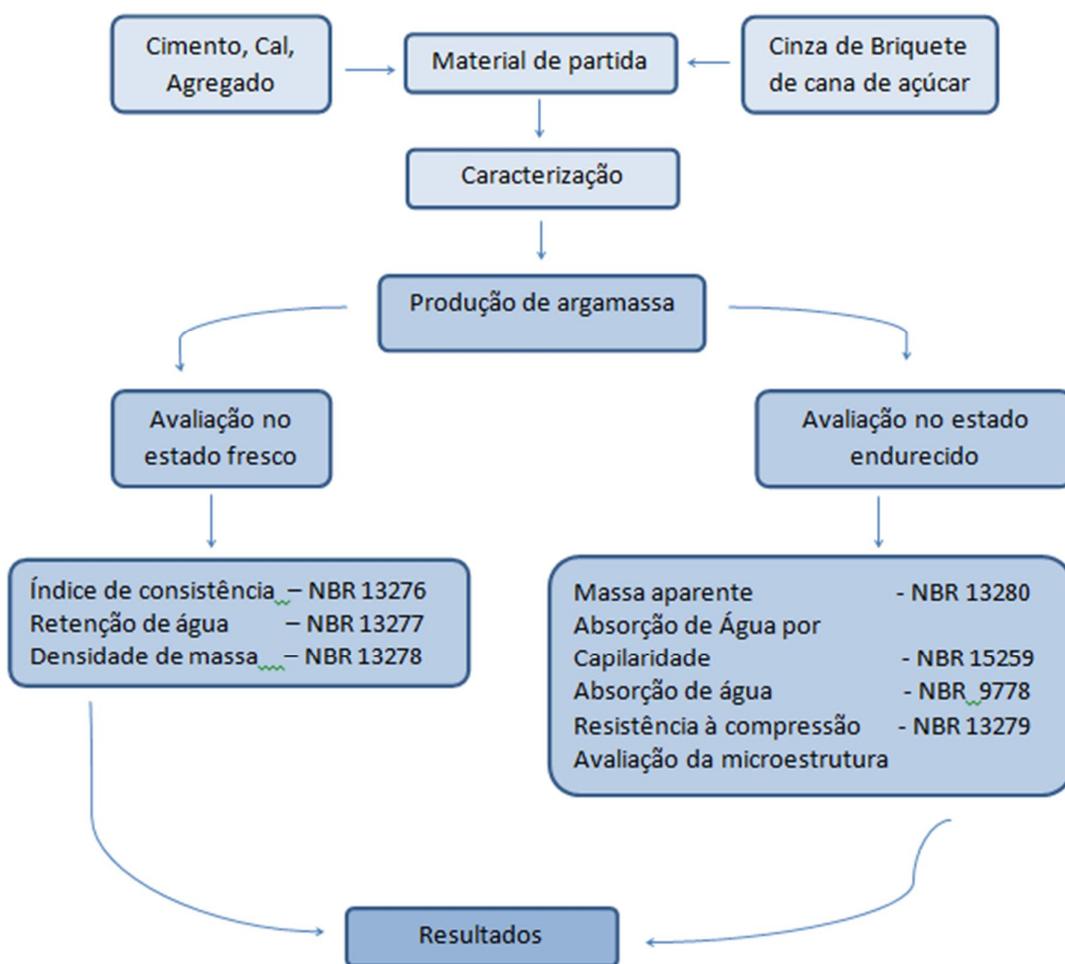
Souto (2010) realizou estudos para avaliar o desempenho da cinza de bagaço de cana na produção de concretos. Seus estudos analisaram a adição de CBC *in natura* com teores de adição variando entre 5 e 30% em concretos de classe C30. Os números iniciais demonstraram resultados significativos nos ensaios de resistência à compressão axial para índices de até 20% de substituição em massa de areia, sendo registrados ganhos de até 12% em comparação ao concreto de referência, mesmo com o aumento acentuado no fator *a/c*.

Poggiali (2010) estudou o desempenho de microconcretos de cimento Portland com adição de cinza de bagaço de cana com teores variando de 10, 15, 20 e 30%. Os resultados de índices de atividade pozolânica e de condutividade indicam que a moagem influencia positivamente na reatividade das cinzas. Embora as cinzas fina e grossa moídas apresentem diferentes teores de SiO_2 e grau de cristalinidade distintos, quando adicionadas aos microconcretos, proporcionaram o melhor desempenho com a utilização de 10 e 15% de cinzas.

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

A metodologia experimental foi elaborada baseada nos objetivos geral e específicos da presente pesquisa, com o intuito de desenvolver argamassas de revestimento com adição da máxima quantidade possível de cinza de briquete de cana de açúcar que possa ser incorporada ao sistema. O procedimento experimental adotado neste trabalho pode ser observado no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma das etapas e ensaios realizados na pesquisa



Fonte: Figura do autor, 2012.

4.1 MATERIAL DE PARTIDA

4.1.1 Cimento Portland

Foi utilizado o cimento CP II Z – 32 da fabricante Nassau por ser um cimento bastante utilizado na região de Caruaru-PE. Mesmo sendo um cimento com teor de adição de pozolana, o mesmo não interferirá no resultado dos experimentos, já que os ensaios serão realizados a baixas idades e o efeito pozolânico se evidencia em idades mais elevadas. As características físicas e químicas fornecida pela empresa Nassau encontram-se expostas nas Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 3 - 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 Fornecido pela empresa Cimentos Nassau.

Tabela 4 - 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
Íncio de pega	Horas	4,15
Fim de pega	Horas	5,20
Resistência compressão 1 dia	MPa	12,60
Resistência compressão 3 dia	MPa	23,10
Resistência compressão 7 dia	MPa	28,10
Resistência compressão 28 dia	MPa	38,10

Fonte: Boletim Técnico Fornecido pela empresa Cimentos Nassau.

4.1.2 Cal

Foi utilizada a cal hidratada para argamassa do tipo CH – I da marca Achaqui.

A massa específica da cal foi determinada através da metodologia da NBR NM 23 e o resultado obtido foi de 2,47g/cm³.

4.1.3 Cinzas

Foram utilizadas cinzas de briquete de bagaço de cana-de-açúcar coletadas na panificadora Barreto, Rua Leão Dourado, bairro São Francisco, cidade de Caruaru - Pernambuco. As cinzas não foram peneiradas na peneira de 4,75 mm, por uma questão prática de futura aplicação, apenas retirando grandes contaminações, como raízes, pedaços de madeira e carvão. Análises de FRX indicaram presença de 59% de sílica na cinza, mas análises de DRX mostraram ser grande parte cristalina.

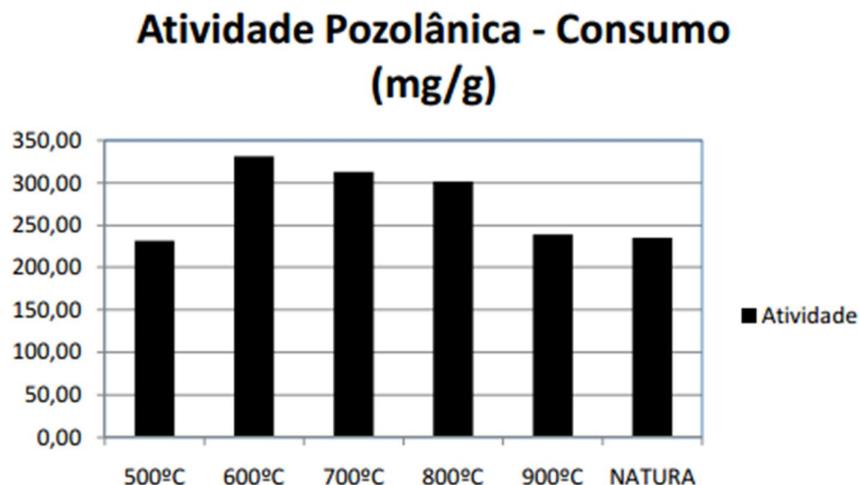
4.1.4 Avaliação do índice de atividade pozolânica das cinza

Foi avaliado a possibilidade de o resíduo ser um material pozolânico, através do método químico de Chapelle modificado NBR 15895/2010.

Os valores expressos abaixo foram obtidos por experimento realizados pelo aluno Lyneker Souza de Moura que faz parte do Grupo de Pesquisa GPEMAT, e será exposto em

seu artigo para a FACEPE. O aluno fez estudos de atividade pozolânica das cinzas de briquete de cana de açúcar queimadas a diversas temperaturas de acordo com o ensaio de Chapelle modificado e obteve os valores expostos na Figura 5.

Figura 5 - Atividade Pozolânica das cinzas de briquete de cana de açúcar em diversas temperatura de queima.



Fonte : Artigo Moura, 2012.

4.1.5 Agregado miúdo

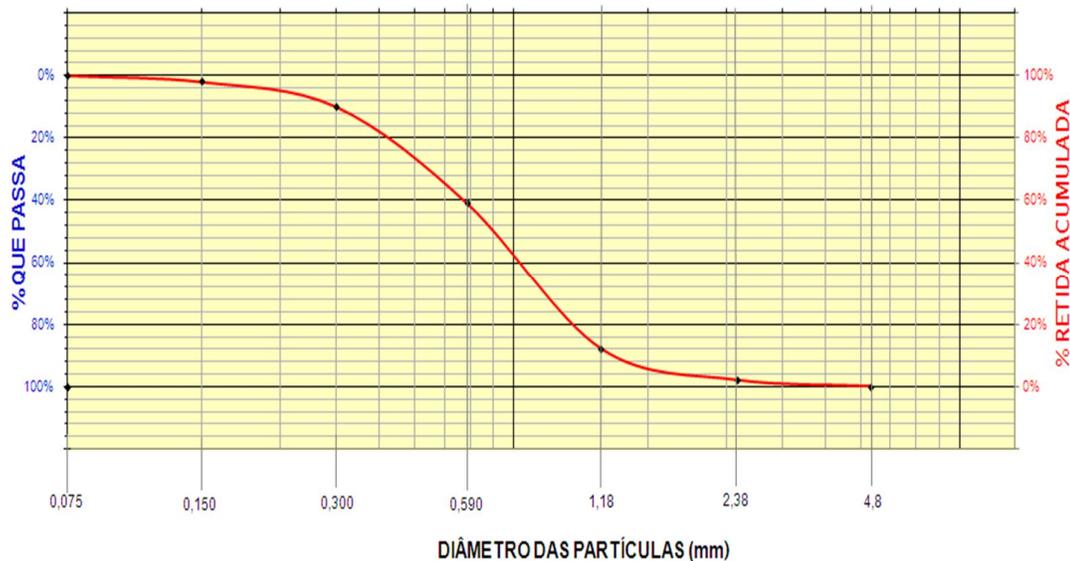
Foi utilizada areia como agregado miúdo, vindo de depósitos do rio Ipojuca na região de Caruaru-PE. Para utilização na pesquisa toda a areia foi lavada em seguida seca em estufa a 100 °C por 24 horas e peneirado em uma peneira de malha 4,75mm e 0,75 µm para sua padronização, caracterizando-se como uma areia média.

Tabela 5 - Distribuição granulométrica da areia.

Peneira (mm)	4,75	2,38	1,18	0,590	0,300	0,150	0,075
% Retida acumulada	0	2	10	41	88	98	100

Fonte: Tabela do autor, 2012.

Tabela 6 - Curva granulométrica da areia utilizada.



Fonte: Figura do autor, 2012.

As características físicas foram realizadas seguindo os procedimentos da NBR NM 248 (2003) e NBR 9776 (1986) e encontram-se abaixo:

Tabela 7 - Características físicas da areia.

Característica	Unidades	Resultado
Módulo de finura	-	2,39
Dimensão máxima característica	mm	2,38
Massa específica	g/cm ³	2,60

Fonte: Tabela do autor, 2012.

4.2 PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS

4.2.1 Desenvolvimento das formulações

Foi desenvolvida uma argamassa com composição volumétrica 1:4,17:7,5 (cimento : cal : agregado),.

- Foi fixada a quantidade de água até que a consistência da argamassa sem adição, analisada através da NBR 13276/2005 seja de 265 mm.
- A quantidade de cinzas foi determinada através do índice de consistência preconizado pela NBR 13276/2005, foi regulado a quantidade de cinzas até que o índice de consistência da argamassa modificada seja de 255 mm.

- O volume de água utilizado foi o mesmo tanto para a argamassa de referência como para argamassa modificada.
- Para simular uma condição normal de obra, peneirou-se as cinzas numa peneira com abertura de 4,75mm, que normalmente é utilizada para agregado miúdo nas obras locais, evitando assim uma maior gasto de energia para a obtenção do insumo.

4.2.2 Preparo das argamassas

As argamassas utilizadas no experimento foram produzidas seguindo os critérios estabelecidos pela norma NBR 13276

- A Cal foi maturada com antecedência de 16 a 24 horas.
- Foram colocadas em uma argamassadeira de eixo vertical, a cal, a areia, a água e misturadas por 4 min. a uma baixa velocidade.

Figura 6 - Argamassadeira misturando a argamassa



Fonte: Foto do autor, 2012.

- Após foi pesado o recipiente contendo a argamassa, esse recipiente em seguida foi vedado para dificultar a evaporação da água.
- Terminado o tempo de cura o recipiente foi novamente pesado e acrescido a quantidade de água perdida por evaporação.

4.2.3 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de provas foram moldados seguindo as recomendação da NBR 13279/2005 em moldes prismáticos 4 x 4 x 16 cm.

- A argamassa foi preparada como descrito em 4.2.2 .
- Em seguida foi colocada no molde em duas camada onde cada camada recebeu 30 quedas com o auxilio da mesa de adensamento (flow table).
- Depois de preenchido o molde foi rasado com auxilio de régua metálica de deixado ao ar livre por 24 horas para em seguida fazer a sua desforma.

Figura 7 - Argamassas nos moldes ao ar livre



Fonte: Foto do autor, 2012.

4.3 AVALIAÇÃO NO ESTADO FRESCO

4.3.1 Índice de consistência

A consistência das argamassa foi medida conforme a NBR 13726 (2005). Os equipamentos utilizados foram, mesa para determinação de consistência (Flow Table), molde de tronco cônico, soquete metálico e um paquímetro digital.

- A mesa e o molde receberam uma fina camada de óleo;
- A argamassa foi preparada como descrito em 4.2.2 .

- O molde foi colocado sobre a mesa e preenchido com a argamassa em três camadas de alturas aproximadamente iguais.
- Na 1ª camada foram dados 15 golpes com o soquete metálico.
- Na 2ª camada foram dados 10 golpes com o soquete metálico.
- Na 3ª camada foram dados 05 golpes com o soquete metálico.
- Em seguida a argamassa foi rasada com o auxílio de uma régua metálica para retirada do excesso;
- Foi retirado o molde tronco-cônico;
- Após a retirada do molde foram aplicadas 30 quedas em aproximadamente 30 segundo com o auxílio da mesa de consistência.
- Logo após a última queda foram realizadas três medidas do espalhamento da argamassa.

Figura 8 - Medição do espalhamento.



Fonte: Foto do autor, 2012.

4.3.2 Retenção de água

A retenção de água das argamassas foram medidas conforme a NBR 13277 (2005). Os equipamentos utilizados foram, funil de Buchner, prato, papel filtro, bomba de vácuo, balança.

- A argamassa foi preparada como descrito em 4.2.2 .
- O funil de Buchner foi montado com o prato e o papel filtro umedecido, aplicado uma sucção de 51 mm de mercúrio por 90s, para retirar o excesso de água. Logo após o conjunto foi pesado;
- Na sequência, o prato foi preenchido com argamassa até que a argamassa passasse um pouco acima da borda do prato. A argamassa foi adensada com 37 golpes de soquete

metálico sendo 16 golpes aplicados uniformemente junto as bordas e 21 golpes aplicados uniformemente distribuídos na parte central da amostra. A argamassa foi rasada com o auxílio de uma régua metálica e depois novamente pesado o conjunto;

- Em seguida conjunto foi montado, aplicado uma sucção de 51 mm de mercúrio durante 15 minutos e em seguida pesado novamente.

Figura 9 - conjunto montado com argamassa já rasada dentro do prato.



Fonte: Foto do autor, 2012.

Para o cálculo da retenção de água foi realizada a seguinte equação:

$$Ra = \left[\frac{1 - (ma - ms)}{AF(ma - mv)} \right] \cdot 100$$

Equação 1

Onde:

Ra = retenção de água (%);

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

ma = massa do conjunto com argamassa (g);

ms = massa do conjunto após a sucção (g);

mw = a massa total de acrescentada a mistura (g);

m é a soma das massas dos componentes anidros (g).

4.3.3 Densidade de massa

A Densidade de massa e o teor de ar incorporado das argamassas foram medidas conforme a NBR 13278. Os equipamentos utilizados foram recipiente cilíndrico, espátula, régua e balança.

- Foi utilizado um recipiente cilíndrico já calibrado segundo a NBR 13278/2005, com volume de 416,9 cm³ e massa de 69,6 g.
- O recipiente foi preenchido com argamassa em três camadas de alturas aproximadamente iguais. Foi aplicado em cada camada 20 golpes com a espátula e 3 quedas de aproximadamente 3 cm de altura para preencher os espaços vazios.
- A superfície foi rasada e depois o recipiente com argamassa foi pesado.

Para o cálculo da retenção de água foi utilizada a Equação 2:

$$d = \frac{mc - mv}{Vr} \cdot 1000$$

Equação 2

Onde:

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

mc = massa do recipiente cilíndrico contendo a argamassa de ensaio (g);

mv = massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

Vr = volume do recipiente (cm³).

4.3.4 Aplicação em obra

A argamassa de referência e a argamassa modificada com a adição de cinza foram levadas a uma obra na cidade de Caruaru-PE para que o mestre de obras Sr. José Galdino, com grande experiência na construção civil, as aplicasse e avaliasse as propriedades de trabalhabilidade e sua avaliação comparativa entre ambas.

Foram levados para a obra recipientes com cal, areia e água que já estavam misturados a cerca de 20 horas, em recipientes separados foram levados o cimento e a cinza ambos já pesados nas respectivas proporções de estudo.

Na obra foi misturada, com a adição do cimento e das cinzas, em outro recipiente, a fim de formar a argamassa para as devidas comparações.

Figura 10 - Produção da argamassa na obra.



Fonte: Foto do autor, 2012.

Figura 11 - Sr. José Galdino aplicando as argamassas em parede previamente chapiscada.



Fonte: Foto do autor, 2012.

4.4 AVALIAÇÃO NO ESTADO ENDURECIDO

4.4.1 Massa aparente

A densidade da massa aparente foi calculada conforme a NBR 13280 (2005). Os equipamentos utilizados foram paquímetro digital e balança.

- Foram moldados seis corpos de provas de acordo com o item 4.2.3, três de referência e três com a quantidade estabelecida de cinza.
- Após a desforma os corpos foram curados ao ar, no ambiente do laboratório de construção civil e estruturas do CAA, por 28 dias.
- Foram feitas medições de massa e dimensão de cada corpo e em seguida foi calculada a densidade de cada corpo-de-prova pela seguinte equação.

Equação 3

$$\rho = \left(\frac{M}{V} \right) \cdot 1000$$

Onde:

ρ = massa específica (kg/m³);

V = volume do corpo de prova (cm³);

M = massa do corpo de prova (g);

4.4.2 Absorção de água por capilaridade

A absorção de água por capilaridade foi calculada conforme a NBR 15259 (2005). Os equipamentos utilizados foram recipiente de plástico, chapa de alumínio, mangueira, cano e balança.

- Foram moldados seis corpos de provas de acordo com o item 4.2.3, três de referência e três com a quantidade estabelecida de cinza.
- Após a desforma os corpos foram curados ao ar, no ambiente do laboratório de construção civil e estruturas do CAA, por 28 dias.
- Os corpos-de-prova tiveram uma de suas faces lixadas e limpas e foram pesados.
- Foi colocado no recipiente a placa de alumínio ranhurada, uma mangueira para alimentar com água o recipiente e um dreno para manter o nível de água em 5 ± 1 mm acima das ranhuras da placa.
- Em seguida foram colocados os corpos de prova com a face lixada para baixo.

- Foram feitas nova pesagem aos 10min e aos 90min, removendo antes da pesagem o excesso de água dos corpos.

Figura 12 - corpos-de-prova de referência durante o ensaio.



Fonte: Foto do autor, 2012.

Para o cálculo da absorção de água por capilaridade foi utilizado a seguinte equação:

$$A_t = \frac{M_t - M_0}{16}$$

Equação 4

Onde:

A_t = Absorção de água por capilaridade (g/cm^3);
 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 (cm^2);

O coeficiente de capilaridade foi calculado através da seguinte equação:

$$C = M_{90} - M_{10}$$

Equação 5

Onde:

M_{90} = Massa do corpo de prova após 90 min (g);
 M_{10} = Massa do corpo de prova após 10 min (g);

4.4.3 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

A absorção de água, índice de vazios e massa específica foram calculadas conforme a NBR 9778 (2005). Os equipamentos utilizados foram estufa, recipiente, balança hidrostática e balança convencional.

- Foram moldados seis corpos de provas de acordo com o item 4.2.3, três de referência e três com a quantidade estabelecida de cinza.
- Após a desforma os corpos foram curados ao ar, no ambiente do laboratório de construção civil e estruturas do CAA, por 28 dias.
- Em seguida os corpos de prova foram secos em estufa a 105 °C por 72 horas, logo depois esfriados até a temperatura ambiente e pesados.
- Após a pesagem, foram submersos em água por 72 horas para saturação, em seguida foram colocadas no recipiente com água em ebulição por 5 horas.

Figura 13 - corpos de prova em recipiente com água em ebulição.



Fonte: Foto do autor, 2012.

- Depois as amostras ainda submersas na água esfriaram naturalmente e foram pesadas na balança hidrostática.

Figura 14 - pesagem de corpo de prova na balança hidrostática.



Fonte: Foto do autor, 2012.

- Em seguida as amostras foram pesadas em balança convencional.

Para o cálculo da absorção de água por capilaridade foi utilizado a seguinte equação:

$$A = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} \cdot 100 \quad \text{Equação 6}$$

onde:

M_{sat} = massa das amostras saturadas (pesadas em balança convencional);

M_s = massa das amostras secas.

Para o cálculo do índice de vazios foi utilizado a seguinte equação:

$$I_v = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_i} \cdot 100 \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

I_v = Índice de vazios;

M_i = massa das amostras saturadas (pesadas em balança hidrostática).

Para o cálculo da massa específica das amostras foi utilizado a seguinte equação:

$$\rho_s = \frac{M_s}{M_{sat} - M_i} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

ρ_s = massa específica da amostra seca

4.4.4 Resistência à compressão e à tração na flexão

A resistência à compressão e à tração na flexão foram calculadas conforme a NBR 9778 (2005). O equipamento utilizado foi a prensa hidráulica Shimadzu 2000KN.

- Foram moldados 45 corpos de provas de acordo com o item 4.2.3, 27 de referência e 18 com a quantidade estabelecida de cinza.
- Após a desforma foram ensaiados corpos de prova nas idades de 7, 14 e 28 dias.
- Primeiramente foram ensaiados os corpos de prova por flexão bi-apoiado utilizando uma escala de força de 40 KN, sendo obtido o resultado em MPa.

Figura 15 - Ensaio de flexão bi-apoiado.



Fonte: Foto do autor, 2012.

- Após o ensaio cada corpo de prova foi dividido em duas metades, essas metades foram posicionadas na prensa para o ensaio de compressão.

Figura 16 - corpo de prova após ensaio de tração na flexão.



Fonte: Foto do autor, 2012.

Figura 17 - ensaio de resistência a compressão.



Fonte: Foto do autor, 2012.

Figura 18 - Corpo de prova após ensaio de compressão.



Fonte: Foto do autor, 2012.

5 RESULTADOS

No presente capítulo serão apresentados os resultados obtidos pelos experimentos realizados com a presente pesquisa.

5.1 CINZA

5.1.1 Determinação da atividade pozolânica das cinzas

De acordo com Christófolli (2010) um material é considerado pozolânico se apresentar no ensaio de Chapelle modificado consumo mínimo de 330 mg de CaO por grama de amostra.

Analisando a Figura 5 podemos concluir que a única amostra que chegou a apresentar atividade pozolânica foi quando o briquete de cana de açúcar foi queimado a uma temperatura de 600 °C. Em todas as outras amostras a cinza não poderá ser utilizada como material pozolânico. O briquete queimado no forno da produção de pizza deve atingir no máximo 500 °C, mostrando que a cinza ora em estudo não apresenta atividade pozolânica.

5.2 DEFINIÇÃO DO TRAÇO DA ARGAMASSA

Para uma melhor acurácia dos experimentos o traço em volume 1:4,17:7,5 (cimento:cal:areia) foi convertido para massa. Na Tabela 8 é expresso o traço em massa.

Tabela 8 - Conversão do traço em volume para traço em massa.

Material	Traço Volume	Traço em massa
Cimento	1	1
Cal	4,17	1,64
Areia	7,7	7,77

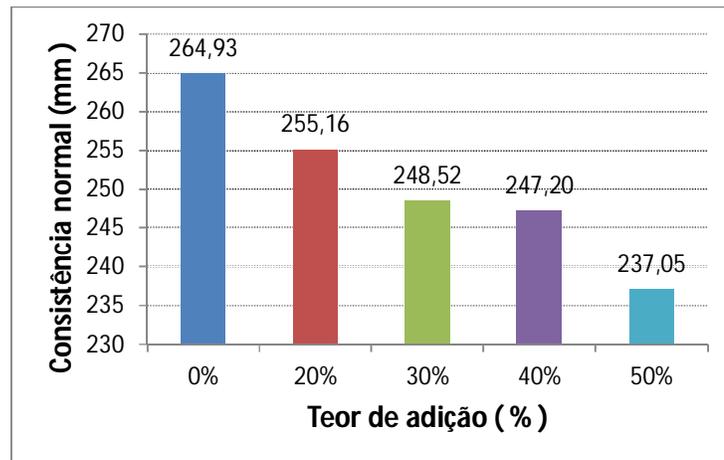
Fonte: Tabela do autor, 2012.

5.3 PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

5.3.1 Índice de consistência

A consistência da argamassa foi ajustada de forma a obter o espalhamento máximo com o valor 265 mm para a argamassa de referência (sem adição de cinza) e dessa foram feitos ajustes com a variação da quantidade de cinza até chegar ao limite mínimo de espalhamento de 255 mm. Os resultados são mostrados na Figura 19.

Figura 19 - Consistência normal das argamassas nas proporções de 0, 20, 30, 40 50%.



Fonte: Figura do autor, 2012.

Pelo gráfico acima podemos observar que a quantidade máxima de cinzas que podemos incorporar ao sistema é de 20%, mas como 20% está apresentando o valor 255,16mm e este está muito próximo do limite 255,00mm foi estabelecida a porcentagem 19% para o nosso estudo.

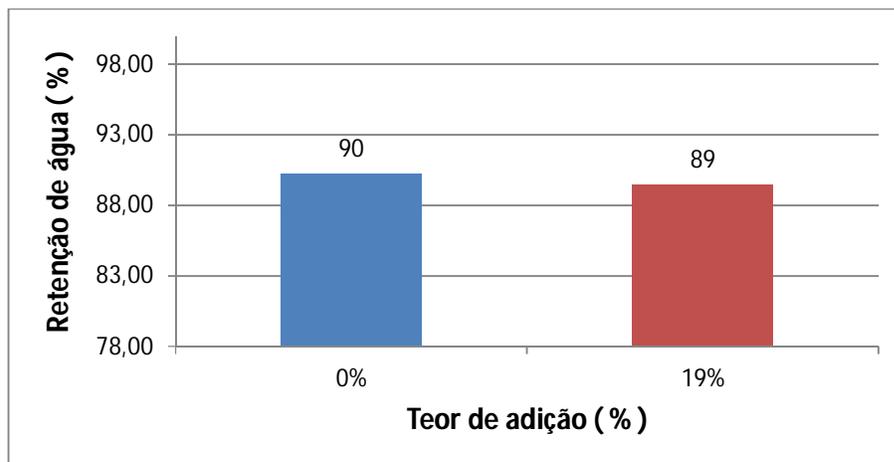
A perda de consistência com a adição da cinza de briquete de cana de açúcar já era esperada em função da sua alta área superficial, absorvendo parte da água de amassamento.

5.3.2 Retenção de água

Os resultados comparativos em termos de retenção de água para as argamassas de referência comparativamente à argamassa com adição de 19% de cinza de briquete de bagaço de de cana-de-açúcar comprimido encontram-se expostos na Figura 20.

Pelo ensaio de retenção Pode-se classificar tanto a argamassa de referência como a argamassa modificada como uma argamassa do tipo U3 segundo a NBR 13281 (2005), Tabela 9. Com isso, podemos afirmar que as argamassas possuem a mesma capacidade de reter água e não perder água para a base.

Figura 20 – Resultados retenção de água das argamassas.



Fonte: Figura do autor, 2012.

Tabela 9 - Classificação da retenção de água NBR 13281 (2005).

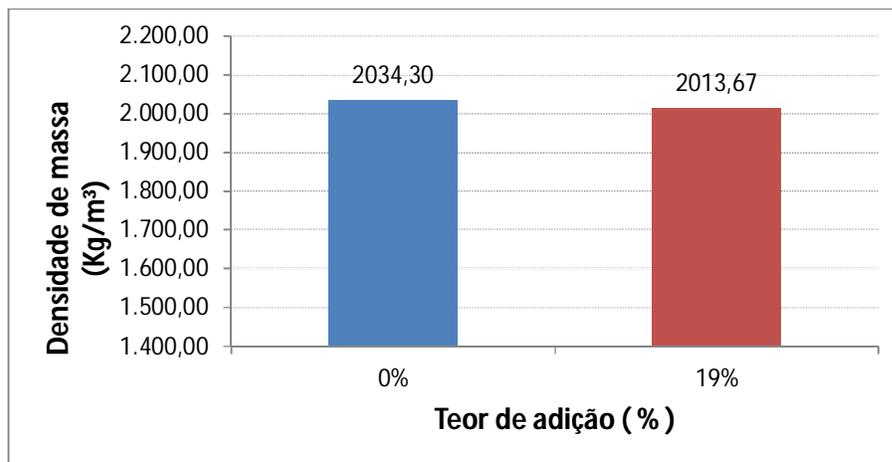
Classe	Retenção de água %	Tipo de argamassa
U1	< 78	
U2	72 a 85	
U3	80 a 90	Ref. e modificada
U4	86 a 94	
U5	91 a 97	
U6	95 a 100	

Fonte: ABNT, 2005.

5.3.3 Densidade de massa

Pelo ensaio de densidade de massa é mostrado que a adição da cinza pouco modificou a densidade da argamassa. Pode-se classificar tanto a argamassa de referência como a argamassa modificada como uma argamassa do tipo D5 segundo a NBR 13281 (2005), Tabela 10.

Figura 21 – Resultados densidade de massa das argamassas



Fonte: Figura do autor, 2012.

Tabela 10 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa no estado fresco NBR 13281 (2005).

Classe	Densidade de massa no estado fresco (kg/m³)	Tipo de argamassa
D1	< 1400	
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2200	Ref. e modificada
D6	> 2000	

Fonte: ABNT, 2005.

5.3.4 Aplicação em obra – estado fresco

O mestre de obra primeiramente produziu a argamassa sem adição e a aplicou na parede em seguida lhe foi pedido para que ele fosse falando qual a sua avaliação da argamassa com adição comparativamente a sem adição e as argamassas em geral.

Algumas falas do mestre:

“tá muito enxuta, precisando de mais água.”

“pra o pedreiro trabalhar com ela, ele tem que colocar uma mão de aço”

“ela é difícil de espalhar, tem que colocar a força do mundo todinho pra ela poder espalhar.

“tem liga boa”

“acabamento igual à outra (de referência).”

Figura 22 - Argamassas logo após aplicadas na parede.



Fonte: Foto do autor, 2012.

5.4 PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

5.4.1 Massa aparente

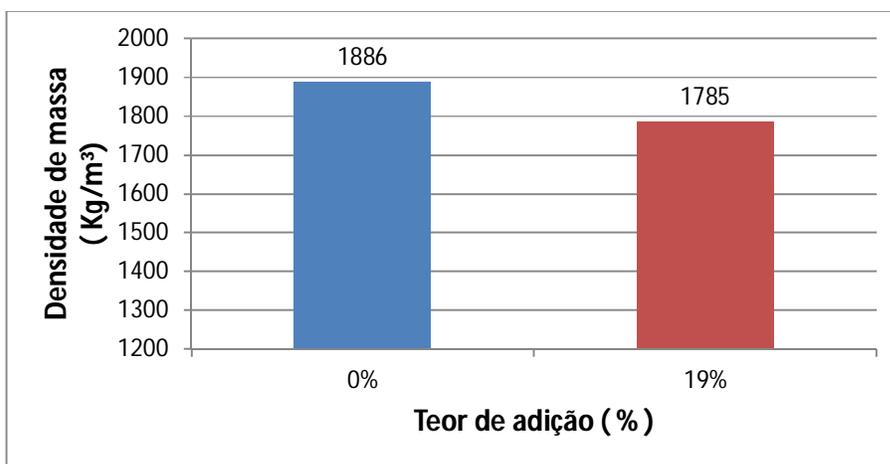
Pelo ensaio de massa aparente é mostrado que a adição da cinza pouco modificou a densidade da argamassa, conforme pode ser visualizado nos valores expostos na Figura 23. Pode-se classificar tanto a argamassa de referência como a argamassa modificada como uma argamassa do tipo M5 segundo a NBR 13281 (2005). A tendência à redução observada é interessante por tornar as estruturas mais leves, aliviando as fundações.

Tabela 11 - Classificação das argamassas segundo a densidade de massa no estado endurecido NBR 13281 (2005).

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido(kg/m ³)	Tipo de argamassa
M1	< 1200	
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	Ref. e modificada
M6	> 2000	

Fonte: ABNT, 2005.

Figura 23 – Resultados densidade de massa no estado endurecido das argamassas.



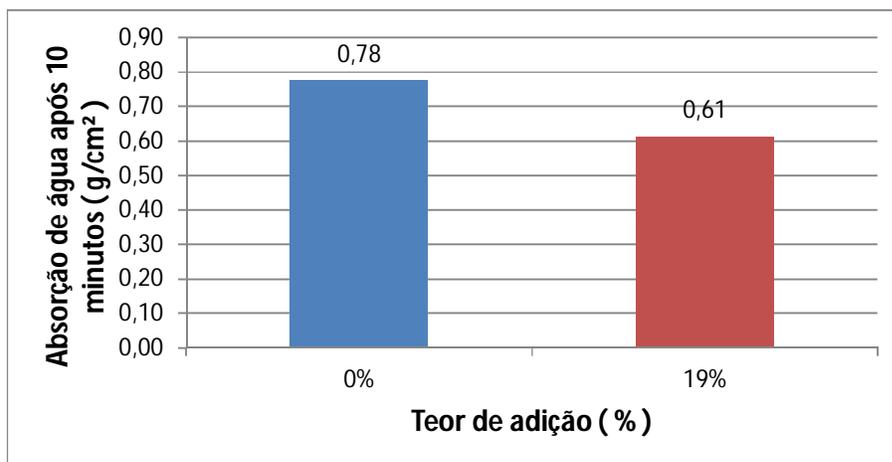
Fonte: Figura do autor, 2012.

5.4.2 Absorção de água por capilaridade

Os valores gráficos expostos na Figura 24 mostram os resultados obtidos com o ensaio de absorção de água por capilaridade seguindo a NBR 15259 (2005). Com base nesses valores eles pode-se qualificar ambas as argamassas como sendo do tipo C6, de acordo com a NBR 13281 (2005). A tendência à redução observada na absorção de água por capilaridade aos 10 minutos (Figura 24), 90 minutos (Figura 25), corroborada com a redução em torno de 21% observada no coeficiente de capilaridade (Figura 26) são interessantes do ponto de vista da estanqueidade das argamassas quando da adição da cinza.

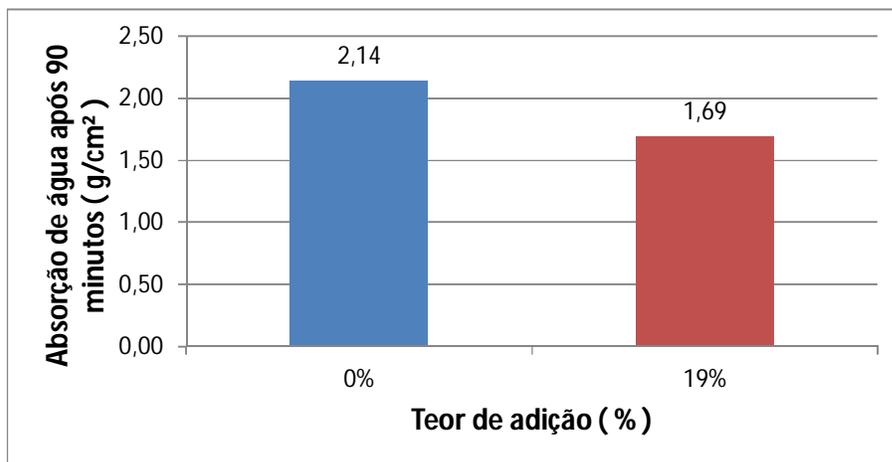
Acredita-se que o fenômeno seja em função da redução da quantidade e tamanhos dos caminhos capilares com a adição do resíduo.

Figura 24 – Resultado absorção de água por capilaridade após 10 minutos das argamassas.



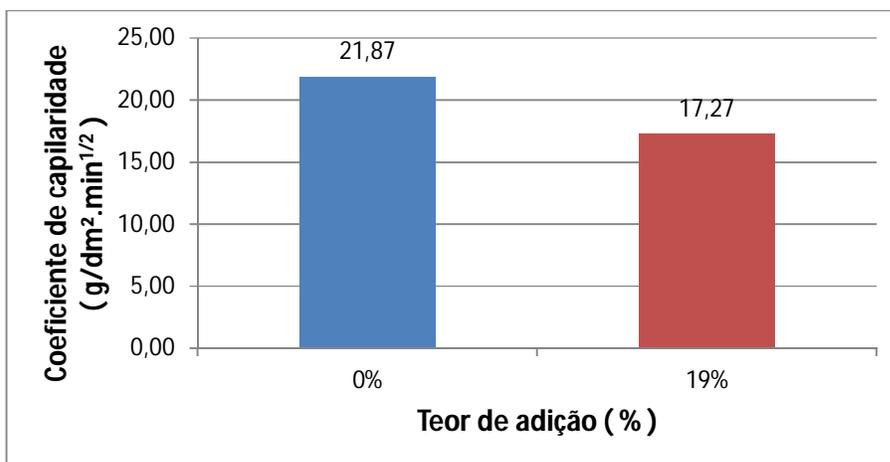
Fonte: Figura do autor, 2012.

Figura 25 – Resultados absorção de água por capilaridade após 90 minutos das argamassas.



Fonte: Figura do autor, 2012.

Figura 26 – Resultados coeficiente de capilaridade de massa das argamassas.



Fonte: Figura do autor, 2012.

Tabela 12 - Classificação das argamassas segundo o coeficiente de capilaridade - NBR 13281 (2005).

Classe	Coefficiente 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	Ref. e modificada

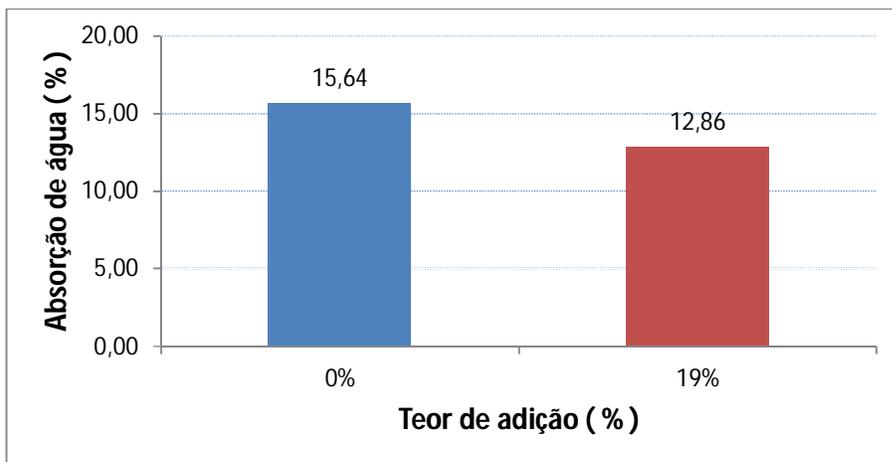
Fonte: ABNT, 2005.

5.4.3 Absorção de água, índice de vazios e massa específica

Os resultados obtidos com o ensaio de absorção de água, índice de vazios e massa específica, de acordo com a metodologia da NBR 9778 (2005), podem ser vistos nas Figura 27, Figura 28 e Figura 29, respectivamente.

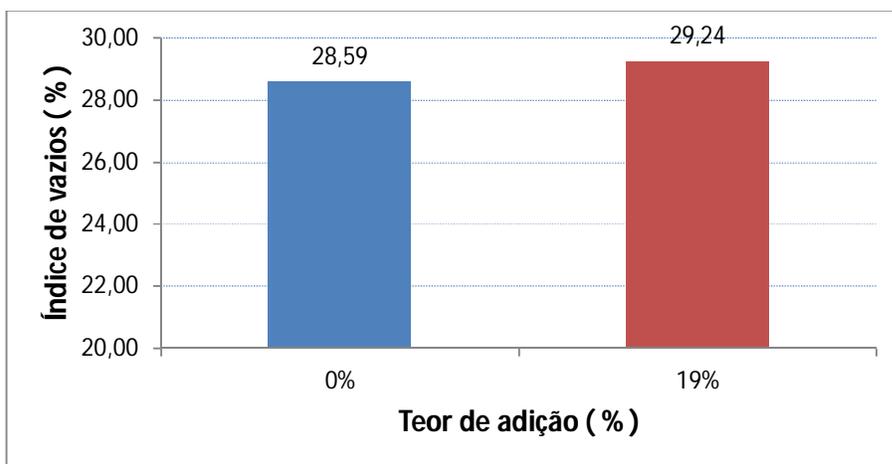
Verifica-se na Figura 27 que houve redução na absorção de água do sistema, ratificando a ideia de que houve redução na porosidade por efeito *filler*, embora o índice de vazios possa ser considerado praticamente constante (Figura 28). Por outro lado, a redução na massa específica do sistema é interessante, por gerar argamassas mais leves no estado endurecido (Figura 29).

Figura 27 – Resultados absorção de água das argamassas.



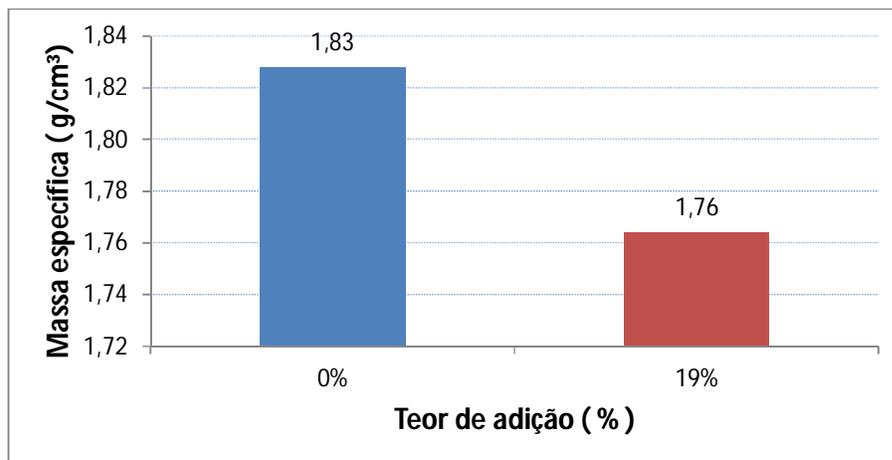
Fonte: Figura do autor, 2012.

Figura 28 – Resultados índice de vazios das argamassas.



Fonte: Figura do autor, 2012.

Figura 29 – Resultados massa específica das argamassas.



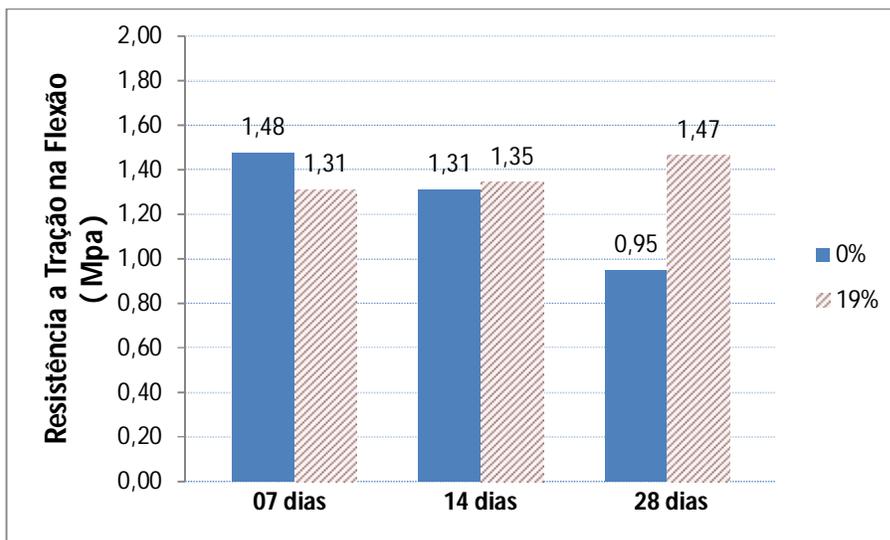
Fonte: Figura do autor, 2012.

5.4.4 Resistência à compressão e a tração na flexão

Os gráficos expostos nas Figura 30 e Figura 31 mostram os resultados obtidos com o ensaio resistência à tração na flexão e à compressão, respectivamente, conforme a NBR 9778 (2005).

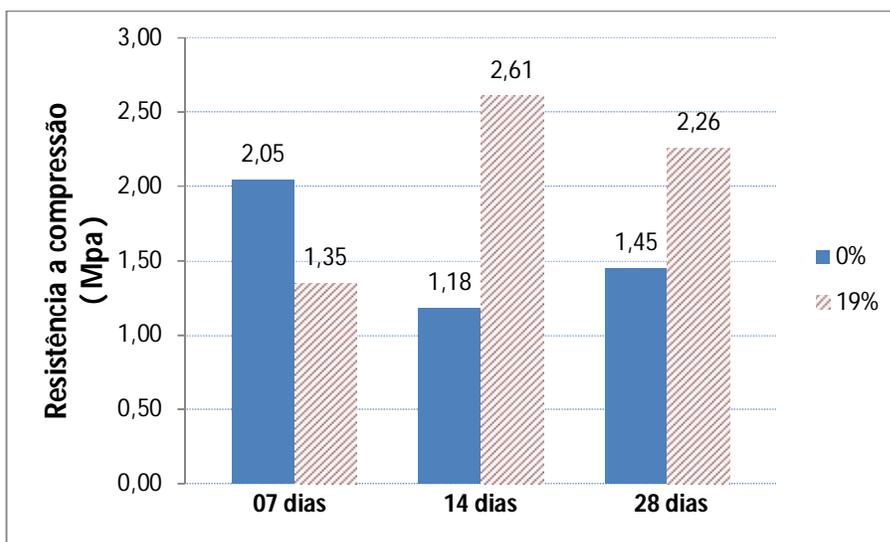
Nas idades de 14 e 28 dias a argamassa modificada apresentou um acréscimo na resistência para tração na flexão de 2 e 35% respectivamente e um decréscimo de 13% na idade de 7 dias. Nas idades de 14 e 28 dias a argamassa modificada apresentou um acréscimo na resistência a compressão de 121 e 56% respectivamente e um decréscimo de 34% na idade de 7 dias.

Figura 30 - Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão.



Fonte: Figura do autor, 2012.

Figura 31 - Resultados do ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Figura do autor, 2012.

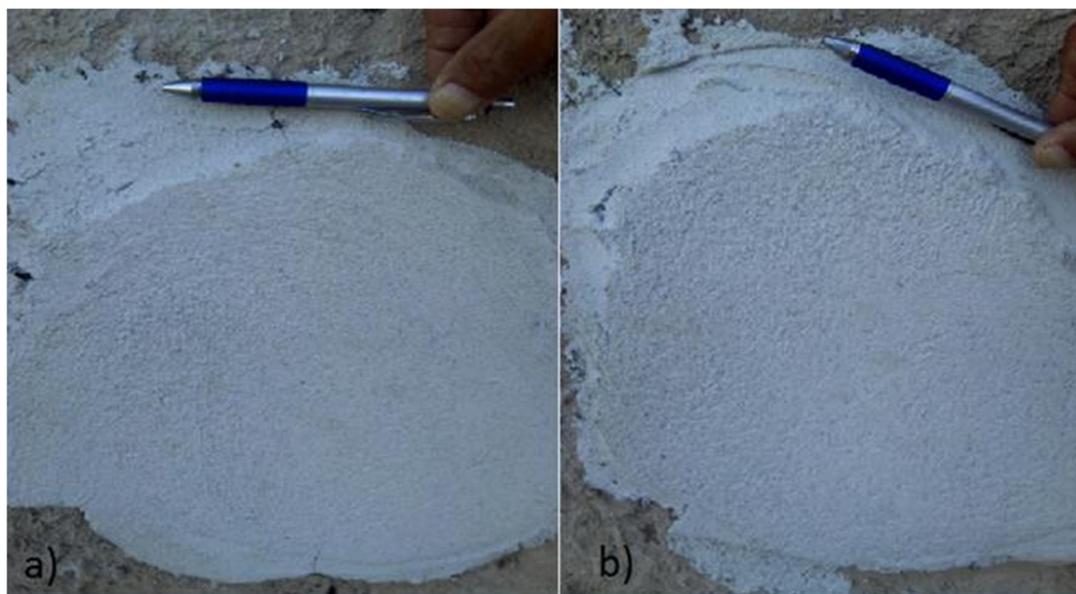
Salienta-se que o valor mais elevado observado aos 7 dias resultante da argamassa de referência pode ser influência da prensa hidráulica que apresenta valores de trabalho muito maior do que os utilizados neste estudo e podia não estar bem ajustada nesse dia específico. De uma forma geral, no entanto, a presença da cinza foi positiva à argamassa, quando comparada com o traço de referência, corroborando com a possibilidade de preenchimento de vazios pela cinza e os resultados de absorção total e capilar.

5.4.5 Aplicação em obra – estado endurecido

Foram tiradas fotos após 5 dias de aplicadas as argamassas e não ocorreu nenhuma fissura, nem na argamassa de referência, nem na argamassa adicionada com 19% da cinza de briquete de bagaço de cana-de-açúcar compressado).

Na sequência, foi passado um prego nas argamassas para analisar como elas reagiriam a abrasão, e não houve nenhum desprendimento de material em ambas as argamassas.

Figura 32 - a) argamassa modificada depois de 5 dias de aplicada. b) argamassa sem adição de cinzas após 5 dias de aplicada.



Fonte: Foto do autor, 2012.

6 CONCLUSÕES

Conclui-se que a adição de até 19% de cinza de briquete de bagaço de cana de açúcar em relação à massa de cimento pode ser incorporada ao sistema de argamassa para reboco sem causar nenhuma fragilidade ao mesmo e em algumas propriedades, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, a adição foi benéfica ao composto. Vale salientar que a cada saco de 50 Kg de cimento utilizado na fabricação de argamassa, aproximadamente 10 kg de cinzas pode ser incorporado a esse nicho da construção civil.

Com isso estamos dando uma destinação final adequada a um resíduo que hoje está sendo descartado no meio ambiente. O polo de confecção da região tem um potencial de gerar uma grande quantidade dessas cinzas.

Vamos apresentar as conclusões obtidas de acordo com os resultados e as expectativas dos objetivos geral e específicos:

- ✓ Foi possível formular e moldar, solidificando, uma argamassa para reboco com adição de cinza de briquete de bagaço de cana de açúcar com a porcentagem máxima de 19% de cinza em relação à massa do cimento.
- ✓ A adição da cinza acarretou uma redução no índice de consistência da argamassa.
- ✓ Analisando as propriedades da argamassa sem adição e com adição tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, a argamassa modificada manteve as propriedades da argamassa de referência, de modo que as argamassas foram caracterizadas sempre na mesma categoria de acordo com as especificações da NBR 13281 (2005).

7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer dos estudos e com os resultados de alguns estudos, ficou evidenciado a importância de serem feitos mais alguns estudos, seguem algumas sugestões abaixo:

- ✓ Realizar os mesmos estudos com teor menor de adição da cinza;
- ✓ Realizar ensaio de retração e expansão no estado fresco e endurecido;
- ✓ Realizar ensaio de resistência potencial de aderência à tração;
- ✓ Realizar os ensaios de resistência à tração na flexão e compressão a idades mais elevadas para verificar se há influência pozolânica das cinzas na resistência da argamasas quando moídas e queimadas;
- ✓ Realizar ensaio de início e fim de pega para a argamassa de referência e modificada;

REFERÊNCIAS

- ANJOS, M. A. S. **Adição do resíduo de biomassa da cana-de-açúcar em pastas para cimentação de poços petrolíferos produtores de óleos pesados.** Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752.** Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolânica com cimento. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211.** Agregados para concreto- especificações. Rio de Janeiro , 2005
- 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, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653.** Materiais pozolânicos - Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281.** Argamassa de Assentamento e Revestimento de paredes e Teto. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30.** Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248.** Agregado - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52.** Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45.** Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 49.** Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467.** Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778.** Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5751.** Materiais pozolânicos - Determinação de atividade pozolânica - Índice de atividade pozolânica com cal. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277.** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.
- 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 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 13280**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15261**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

BAÍIA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto de execução de revestimentos de argamassas**, 4ª edição, São Paulo: O nome da rosa, 2002.

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira**. Brasília, 2008.

GOBBI, A.; GROENWOLD, J. A.; MEDEIROS, M. H. F. **Cinza de bagaço de cana-de-açúcar: Contribuição para a sustentabilidade dos materiais de reparo**. Córdoba, Argentina, 2010.

LOURENCI, S. **Caracterização de argamassas de revestimento fabricadas com materiais alternativos**. Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), 2003.

MACEDO, P. C. **Avaliação do desempenho de argamassas com adição de cinza do bagaço de cana-de-açúcar**. São Paulo, 2009.

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.

NOBREGA, A. C. V. **Desenvolvimento de argamassas de revestimento adicionadas de cinzas geradas no Agreste Pernambucano**. Proposta de projeto submetida ao Edital FACEPE – PPP - EDITAL FACEPE 10/2010. Programa de Infraestrutura para Jovens Pesquisadores. Programa Primeiros Projetos – PPP/FACEPE/CNPq. Pernambuco, 2010.

PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2006.

POGGIALI, F. S. J. **Desempenho de microconcretos fabricados com cimento Portland com adições de cinza de bagaço de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

SOARES, M. M. N. S. **Influência das condições de queima nas características físico-químicas das cinzas do bagaço de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

SOUTO, J. M. F. **Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana-de-açúcar na produção de concretos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Maringá (UEM), 2010.