

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**LUDMILA MARTINS DE QUEIRÓZ
SARAH CRISTINA RAMOS DE CASTRO**

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND PELA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-
AÇÚCAR (CBC) EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

ANÁPOLIS / GO

2015

**LUDMILA MARTINS DE QUEIRÓZ
SARAH CRISTINA RAMOS DE CASTRO**

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND PELA CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-
AÇÚCAR (CBC) EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO
DA SILVA**

**ANÁPOLIS / GO: 2015
FICHA CATALOGRÁFICA**

CASTRO, SARAH CRISTINA RAMOS
QUEIRÓZ, LUDMILA MARTINS.

Influência da substituição parcial do cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) em argamassas de revestimento

78P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2015).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Cinza do bagaço da cana-de-açúcar
3. Aditivos minerais
I. ENC/UNI

2. Argamassa
4. Revestimento
II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Castro, S. C. R. , Queiróz, L. M. **Influência da substituição parcial do cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) em argamassas de revestimento.**TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 78p. 2015.

CESSÃO DE DIREITOS

NOMES DAS AUTORAS: Ludmila Martins de Queiróz, Sarah Cristina Ramos de Castro.

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Influência da substituição parcial do cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) em argamassas de revestimento

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2015

É concedida à Unievangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Ludmila Martins de Queiróz
Rua C4 Qd.16 Lt.17, nº 38, Conjunto Capelinha
75860-000 Quirinópolis/GO – Brasil
ludmilalp_@hotmail.com

Sarah Cristina Ramos de Castro
R.14 Qd.11 Lt.11, Jardim Primavera II
75170-000 Goianápolis/GO - Brasil
sarahengcivil@outlook.com

LUDMILA MARTINS DE QUEIRÓZ
SARAH CRISTINA RAMOS DE CASTRO

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO
PORTLAND PELO BAGAÇO DA CINZA DA CANA-DE-
AÇÚCAR (CBC) EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Especialista
(UniEvangélica)
(ORIENTADOR)**

**EDSON NISHI, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**MARY HELLEN DA COSTA MONTEIRO, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

ANÁPOLIS/GO, 27 de Maio de 2015.

AGRADECIMENTOS

A Deus por nos dar força, paciência, saúde e proteção durante toda essa jornada, sem seu zelo e bondade os caminhos seriam mais árduos.

Aos nossos pais pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao professor especialista Agnaldo Antônio Moreira pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Ao laboratório Carlos Campos e seus funcionários que dedicaram seu tempo e conhecimento, a fim de agregar valor ao trabalho.

Aos amigos e familiares que colaboraram de forma direta ou indireta para que o trabalho fosse concluído.

A todos que fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigada

RESUMO

Este trabalho avalia experimentalmente as propriedades da argamasas de revestimento dosadas de modo convencional e com adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar, analisando a resistência em revestimentos aplicados em alvenaria. O estudo foi realizado a fim de caracterizar as propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido, através de ensaios que analisam o agregado miúdo, a cinza e a resistência à tração e compressão. Como resultado foi constatado que a cinza adicionada ao revestimento de argamassa possui grande potencial e pode ser aplicada de forma a reduzir gastos e conservar recursos minerais.

Palavras-chaves: Cinza do bagaço da cana-de-açúcar; agregado miúdo; revestimento; resistência.

ABSTRACT

This work evaluates experimentally the properties of conventional mortars measured coating with addition of ashes of sugarcane bagasse, analyzing its resistance when applied to brickwork. The study was done in order to characterize of the mortars properties in a raw and cured state, through tests that analyze the fine aggregate, the ashes and stress-strain resistance. As a result it was stated that the ashes added to the mortars coat have great potential and may be applied in order to reduce costs and save mineral resources.

Keywords: sugarcane bagasse ashes; fine aggregate; coating; resistance.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1 – Coliseu	14
Figura 2 - Processo de fabricação do cimento.....	15
Figura 3 - Lavoura de cana-de-açúcar.....	19
Figura 4 – Detalhes da estrutura fibrosa do bagaço de cana-de-açúcar.	18
Figura 5 – Camadas da argamassa.....	28
Figura 6 - Peneira e acessórios	36
Figura 7 - Retirando o material da parte inferior da peneira.	36
Figura 8 - Adicionando água até a marca de 200 cm ³	38
Figura 9 - Preparação da amostra para o ensaio	39
Figura 10 - Procedimento do ensaio	40
Figura 11 - Recipiente escolhido.	41
Figura 12 - Determinação da massa do recipiente mais o material.....	42
Figura 13 - Jogo de peneiras na sequência para o ensaio.	43
Figura 14 - Parede com chapisco.....	44
Figura 15 – Revestimento finalizado.....	45
Figura 16 - Mistura dos materiais na cuba.	46
Figura 17 - Extração dos corpos-de-prova	49
Figura 18 – Elementos influenciadores na aderência.....	53
Figura 19 – Disposição do revestimento no ensaio	53
Figura 20 – Disposição do revestimento no ensaio.....	53
Figura 21 – Disposição do revestimento no ensaio	53
Figura 22 – Disposição do revestimento no ensaio.....	53
Figura 23 – Disposição do revestimento no ensaio	53
Figura 24 – Disposição do revestimento no ensaio.....	53
Figura 25 – Disposição do revestimento no ensaio.....	53
Figura 26 – Disposição do revestimento no ensaio.....	53
Gráfico 1 - Curvas granulometrias	50
Gráfico 2 – Evolução das resistências	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição típica da cana-de-açúcar	19
Tabela 2 - Exigência química da cal hidrata.....	21
Tabela 3 - Série de peneiras.....	22
Tabela 4 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	23
Tabela 5 - Característica do recipiente	24
Tabela 6 – Estatística de consumo de cimento, cal e areia.....	29
Tabela 7 – Estatística de consumo mensal de cimento, cal e areia.....	28
Tabela 8 – Traço do emboço para diversas bases.....	29
Tabela 9 – Teor dos componetes do cimento composto.....	33
Tabela 10 – Composição química	33
Tabela 11 – Composição química da cal hidratada	34
Tabela 12 - Traços utilizados.....	44
Tabela 13 – Resultado ensaio de massa específica.....	50
Tabela 14 – Resistência a compressão axial.....	51
Tabela 15 – Especificações necessárias aos revestimentos	53
Tabela 16 – Umidade do revestimento	57
Tabela 17 – Tensão de ruptura, média, desvio padrão e coeficiente de variação.....	57
Tabela 18 – Tensão de ruptura, média, desvio padrão e coeficiente de variação.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Campos de aplicação das argamassas	26
Quadro 2 – Definições da trabalhabilidade da argamassa	32
Quadro 3 – Propriedades físico-química.....	34
Quadro 4 – Propriedades físico-química da cal hidratada.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

A - área da pastilha

C - fator de correção da peneira

C2S – Silicato bicálcico

C3S – Silicato tricálcico

C3S2H3 – Bissilicato tricálcico

Ca(OH)₂ – Hidróxido de cálcio

CaO_t – Óxido de cálcio totais

CBC – Cinza do bagaço da cana-de-açúcar

Cm³ - Centímetros cúbicos

CH – Cal Hidratada

CO₂ – Dióxido de carbono

d₁ - massa específica aparente do agregado seco

dm³ - Decímetro cúbico

DNER - Departamento nacional de estradas de rodagem

F - índice de finura do cimento

g – Gramas

GJ – Giga joule

IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto

Kg- Quilograma

L - leitura no frasco

M - massa inicial do cimento

m - amostra seca em estufa

m₁ - massa do conjunto

m₂ - massa total

m³ - Metro quadrado

mm – Milímetros

mar - massa do recipiente mais o agregado

mr - massa do recipiente vazio

Mpa – Mega Pascal

NBR – Norma Brasileira

NM – Norma MERCOSUL

MgO_t – Óxidos de magnésio totais

P: carga de ruptura

ρ_{ap} - massa unitária do agregado

R - resíduo do cimento na peneira 75 μ m

R_a - Resistência de aderência à tração

s – Segundos

(SiO)₂ - Dióxido de silício

SNIC - Sindicato Nacional da Indústria do Cimento

V - volume do recipiente

V_a - volume de água adicionada ao frasco

μ m – Micrometro

γ = massa específica do agregado miúdo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 JUSTIFICATIVA	124
1.2 OBJETIVOS	12
1.2.1 Geral	12
1.2.2 Específico	12
2. REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA	14
2.1 CIMENTO PORTLAND	14
2.1.1 História	146
2.1.2 Produção	15
2.1.3 Hidratação	16
2.2 CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR	16
2.2.1 A cana-de-açúcar	16
2.2.2 Moagem da cana-de-açúcar	19
2.2.3 O bagaço da cana-de-açúcar	18
2.2.4 A cinza do bagaço da cana-de-açúcar	19
2.3 POZOLANA	20
2.4 CAL HIDRATADA	20
2.5 AGREGADOS	23
2.5.1 Dimensões dos agregados	22
2.5.2 Composição granulométrica	22
2.5.3 Massa específica	23
2.5.4 Massa unitária	24
2.5.5 Porosidade e absorção	24
2.5.6 Agregados miúdos	25
2.6 ADITIVOS	25
2.6.1 Aditivos minerais	25
2.7 ÁGUA	25
2.8 ARGAMASSA	26
2.9 APLICAÇÕES DA ARGAMASSA	26
2.10 REVESTIMENTO	29
2.10.1 Condições da base	28
2.10.2 Revestimento chapisco	28
2.10.3 Revestimento Emboço	29

2.10.4 Revestimento Reboco	30
2.11 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA	30
2.11.1 Aderência e rugosidade	30
2.11.2 Retenção de água	31
2.11.3 Resistência mecânica	31
2.11.4 Trabalhabilidade	31
3. MATERIAIS E METODOS	33
3.1 CIMENTO	33
3.2 CAL	34
3.3 ENSAIOS	35
3.3.1 Ensaio com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar	35
3.3.1.1 Módulo de finura	35
3.3.1.2 Massa específica	39
3.3.2 Ensaio com agregado miúdo	38
3.3.2.1 Massa Específica	38
3.3.2.2 Massa Unitária	41
3.3.2.3 Granulometria	42
3.4 DOSAGEM	43
3.5 EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO	44
3.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO	45
3.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA A TRAÇÃO	46
4. APRESENTAÇÃO E RESULTADOS DAS ANÁLISES	49
4.1 CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	51
4.1.1 Módulo de finura	49
4.1.2 Massa específica	49
4.2 AGREGADOS MIÚDOS	49
4.2.1 Massa específica	49
4.2.2 Massa unitária	50
4.2.3 Granulometria	50
4.3 ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	51
4.3.1 Compressão axial	51
4.3.2 Aderência a Tração	52
4.4 CUSTOS	60
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
REFERÊNCIAS	63

1. INTRODUÇÃO

O cimento Portland é material mais utilizado na engenharia e o segundo mais utilizado no mundo, perdendo apenas para a água. Devido a sua versatilidade pode ser aplicado desde obras mais simples até infraestrutura, do início ao acabamento. Segundo o Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), o consumo anual do material no Brasil em 2012 superou a marca de 69 milhões de toneladas e um consumo de 353 quilogramas por habitante. A produção de uma tonelada de cimento consome cerca de 5 GJ de energia (STRUBLE e GODFREY, 2004) e requer aproximadamente 1.7 toneladas de matéria-prima, basicamente composta de 80% de calcário e 20% de argila, ambas matérias primas não renováveis. A indústria cimenteira também é uma grande responsável pelo elevado número de emissão de dióxido de carbono (CO₂). Malhotra (2002) estimou que cerca de 7% de todo CO₂ emitido no mundo é devido à produção de cimento Portland.

Nos últimos anos se tem buscado novas tecnologias de construção que possam reduzir gastos, reutilizar as matérias prima e melhorar a qualidade do produto final. Com isso a substituição parcial do cimento Portland por aditivos minerais vem sendo empregada de forma a incorporar melhorias técnicas e diminuir impactos ambientais relacionadas com a disposição final desses minerais.

A crescente demanda de geração de energia faz com que fontes renováveis sejam cada vez mais impulsionadas. No Brasil o plantio da cana-de-açúcar é de suma importância, por se tratar de um recurso agrícola renovável e de utilidades versáteis. A partir da cana-de-açúcar se obtém: etanol, açúcar e energia além de subprodutos: vinhaça, torta de filtro que são reutilizados na irrigação, e o bagaço da cana-de-açúcar. O último é queimado na própria usina gerando o vapor que é capaz de movimentar as turbinas para moagem da cana e cogeração de energia elétrica.

No final dessa queima gera-se a cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC), que normalmente apresenta como principal composto químico a sílica. Essa característica pode possibilitar o emprego do CBC em artefatos de cimento, por possuir características pozolânicas. Na produção da cana-de-açúcar, a incorporação da cinza pode agregar valor econômico ao resíduo agroindustrial e proporcionar vantagens técnicas e ambientais com a substituição parcial de cimento Portland. Portanto, a cinza do bagaço de cana-de-açúcar tem potencial para ser utilizada como adição mineral, substituindo parte do cimento em argamassas e concretos (CORDEIRO et al., 2008).

Para se ter uma idéia, considerando toda produção de cana-de-açúcar da região Centro Oeste, se 8% do cimento produzido fosse substituído pela cinza da queima do bagaço da cana, haveria uma redução de cerca de 250 mil toneladas de gás carbônico por ano. Uma quantidade significativa para o meio ambiente, revela Cordeiro et al., (2008).

A redução de 10% da quantidade do cimento, e o acréscimo da cinza do bagaço da cana-de-açúcar é analisada para que se possa conhecer seu potencial em revestimentos de argassamas. Com a busca de soluções inovadoras que visam à sustentabilidade, encontrar métodos de reutilização de matérias-primas são de extrema importância, já que as condições cômodas levam a estagnação de uso de recursos já tradicionais. A evolução juntamente com a sustentabilidade é o grande desafio do século, já que se aproxima cada vez mais do esgotamento de recursos naturais, provenientes de uso incorreto e excessivo.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com Santos (2013) “a minimização dos impactos ambientais tem mobilizado a sociedade, em escala planetária, na busca de conceitos sustentáveis”. Materiais como a cinza do bagaço da cana-de-açúcar possuem características desejáveis quando misturados com o cimento Portland. Muitos desses resíduos minerais são descartados de forma incorreta na natureza, com a sua reutilização há uma colaboração para a sustentabilidade e minimização de danos ambientais em relação ao processo de produção do cimento Portland.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

O presente trabalho visa avaliar a substituição parcial do cimento Portland pela cinza de bagaço da cana-de-açúcar (CBC) em argamassas de revestimento de parede, podendo demonstrar com a realização de ensaios a aplicabilidade do aditivo mineral.

1.2.2 Específico

- Investigar a viabilidade de utilização de aditivos minerais (substituição de até 10% da massa de cimento Portland);

- Identificar as propriedades da argamassa com CBC no estado fresco e endurecido;
- Avaliar a aderência da argamassa com a aplicação da CBC

2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

2.1 CIMENTO PORTLAND

2.1.1 História

A Associação brasileira de cimento Portland, relata uma breve história do cimento:

A palavra "cimento" é originada do latim "*caementu*", que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. A grande obra romana o Coliseu (Figura 1), foi construída com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água (ABCP, 2014).

Figura 1 – Coliseu



Fonte: Blog Império Romano

Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos de Smeaton, pela mistura de componentes argilosos e calcários. Ele é considerado o inventor do cimento artificial. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu assim que se obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto às pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (BATTAGIN, 2009).

2.1.2 Produção

O Cimento Portland é produzido essencialmente da mistura de um material cálcico, como calcário ou giz, e a sílica e a alumina encontradas em argilas ou folhetos. O processo de produção consiste em moer as matérias primas até a obtenção de um pó bastante fino, misturá-las intimamente em proporções predeterminadas e queimá-las em um grande forno rotativo em uma temperatura próxima a 1400°C. No forno, ocorre a sinterização do material e sua fusão parcial na forma de clínquer, que após ser resfriado recebe uma determinada quantidade de gipsita (sulfato de cálcio), sendo então novamente moído até resultar em um pó fino. O produto resultante é o cimento Portland comercial, utilizado no mundo todo. (NEVILLE; BROOKS, 2013)

Na Figura 2 está esquematizado o processo de fabricação do cimento desde a retirada da matéria prima até como são transportados os produtos, em sacos ou à granel.



Fonte: Votorantim cimentos

O aglomerante utilizado é o Cimento Portland, que é um ligante hidráulico obtido pela moagem do clínquer Portland, em conjunto com uma ou mais formas de sulfato de cálcio, em proporções que variam aproximadamente de 3 % a 5 % em massa, e eventuais adições ativas facultativas, conforme o tipo de cimento, durante o processo de fabricação (KIHARA, 2005).

A NBR 5732 (ABNT, 1991) atribui ao cimento Portland o conceito de um produto da moagem de clínquer Portland resultando em um aglomerante hidráulico. Durante esse

processo é adicionado à quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio, materiais pozzolânicos, materiais carbonáticos e escórias granuladas de alto-forno.

2.1.3 Hidratação

Na presença de água, os silicatos e aluminatos do cimento Portland se hidratam formando compostos hidratados que com o passar do tempo produzem uma massa sólida e resistente. Os dois silicatos de cálcio (C_3S e C_2S), são os principais compostos do cimento, sendo que o primeiro se hidrata muito mais rápido que o segundo. Nos cimentos comerciais, os silicatos de cálcio contêm pequenas impurezas de óxidos presentes no clínquer que exercem um forte efeito nas propriedades dos silicatos hidratados. O C_3S "impuro" é conhecido como alita, o C_2S "impuro", como belita. O produto da hidratação do C_3S é o composto hidratado micro cristalino $C_3S_2H_3$ com a liberação de cal na forma cristalina de $Ca(OH)_2$. C_2S se comporta de maneira similar, mas evidentemente contém menos cal. Hoje os silicatos de cálcio hidratados são descritos como C-S-H (anteriormente era denominado gel de tobermorita) (NEVILLE; BROOKS, 2013).

2.2 CINZA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

2.2.1 A cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar foi introduzida no país no período colonial e transformou-se em uma das principais culturas da economia brasileira. Segundo Ministério da Agricultura o Brasil não é apenas o maior produtor de cana é também o primeiro do mundo na produção de açúcar e etanol.

Segundo o levantamento da safra 2014/2015 da Conab (Companhia Nacional do Abastecimento) o Brasil produziu 634,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar em pouco mais de nove milhões de hectares distribuídas em todos estados produtores. São Paulo permanece como o maior produtor com 52% área plantada, seguido por Goiás com 9,5%, Minas Gerais com 8,9%, Mato Grosso do Sul com 7,4%, Paraná com 7,1%, Alagoas com 4,3% e Pernambuco com 2,9%. A Figura 2.3 mostra uma lavoura de cana-de-açúcar.

Figura 3 - Lavoura de cana-de-açúcar.

Fonte: Brasil escola

Segundo Lora et al. (2001), uma cultura típica de países de clima tropical ou subtropical a cana-de-açúcar consegue se adaptar com facilidade em diferentes tipos de solos. É uma das variedades agronômicas de maior eficiência no processo de fotossíntese, por utilizar entre 2% e 3% da radiação solar incidente na produção de biomassa vegetal.

A composição química típica da cana-de-açúcar é apresentada na tabela 2.

Tabela 2 - Composição típica da cana-de-açúcar

Composto	Quantidade (% , em massa)
Água	74,5
Sacarose (pol*)	12,5
Fibra	10,0
Outros	3,0

pol*: percentual de sacarose aparente no caldo de cana-de-açúcar

Fonte: Cesnik e Miocque (2004)

2.2.2 Moagem da cana-de-açúcar

Neste processo o principal objetivo é extrair ao máximo o açúcar contido na cana através da remoção de seu caldo. Esta remoção é conseguida por meio de esmagamentos da camada de bagaço à medida que esta camada passa por processo de moenda. Além do esmagamento, é necessária também a adição de água, visando à diluição do açúcar existente na cana.

Outro objetivo da moagem é a produção de um bagaço final em condições de umidade favoráveis a uma queima eficiente nas caldeiras. Para que essas duas metas básicas

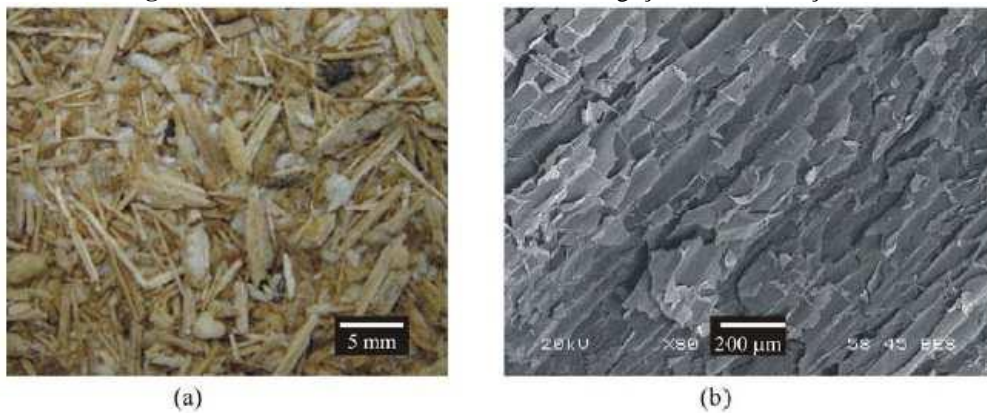
possam ser atingidas é necessário um rigoroso controle de operação nas moendas, atentando para os vários fatores que influenciam no seu desempenho. Dentre esses fatores podemos destacar os seguintes:

- Eficiência do sistema de preparo de cana;
- Eficiência da alimentação da cana no 1º terno;
- Carga hidráulica, oscilação e rotação;
- Condição superficial das camisas;
- Controle de aberturas;
- Tipos de frisos;
- Ajuste de bagaceiras e pentes;
- Sistema de embebição;
- Alimentação dos ternos intermediários.

2.2.3 O bagaço da cana-de-açúcar

Para Silva et al., (2007) o aumento da área plantada e a industrialização da cana-de-açúcar, cresceu devido a investimentos públicos e privados na produção alcooleira, assim houve um crescimento significativo na produção do bagaço de cana-de-açúcar. Com o melhoramento do balanço energético das antigas usinas e a entrada de atividade de um número cada vez maior de destilarias autônomas aumentou-se consideravelmente a porcentagem de sobras. Na Figura 4 vê-se os detalhes da estrutura fibrosa do bagaço de cana-de-açúcar.

Figura 4 – Detalhes da estrutura fibrosa do bagaço de cana-de-açúcar.



(a) Bagaço de cana-de-açúcar em fotografia
Fonte: Cordeiro (2006)

(b) micrografia que evidencia a estrutura fibrosa

Conforme dados da Conab, na safra de 2014/2015 foram moídos 634,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produzindo aproximadamente 12 milhões de toneladas de bagaço, sendo aproximadamente 320 kg por tonelada de cana moída. O bagaço é utilizado em diversas áreas na economia brasileira: alimentação animal, produção de combustível, cogeração de energia, indústria de cosméticos e engenharia civil (COSTA; BOCCHI, 2012).

2.2.4 A cinza do bagaço da cana-de-açúcar

A cinza do bagaço apresenta um grande quantitativo de dióxido de silício (SiO_2), normalmente acima de 60% (em massa). A areia (quartzo) é outra fonte de sílica para a cinza, oriunda da lavoura. A areia não é retirada na sua totalidade na etapa de lavagem da cana-de-açúcar, ficando no bagaço, este fenômeno pode ser observado nas operações de limpeza dos salões das caldeiras, onde ocorre a combustão (CORDEIRO, 2006).

Para cada tonelada de bagaço que alimenta o processo de cogeração, aproximadamente 25 kg de cinza residual são geradas (FIESP/CIESP, 2001). As características da cinza são influenciadas pelas condições de queima do bagaço. O bagaço possui boa ignição apesar de normalmente apresentar um elevado teor de umidade. Isto se deve ao alto teor de materiais voláteis presentes neste resíduo, da ordem de 87% em base seca, que representam cerca de 78% do poder calorífico e consomem aproximadamente 74% do ar de combustão (PELLEGRINI, 2002).

A umidade do bagaço que alimenta as caldeiras interfere diretamente no rendimento da combustão e nas características da cinza gerada. De acordo com COELHO (1999), para um teor de umidade de 50% a temperatura de ignição do bagaço deve estar entre 500°C e 600°C, faixa que cai para 300°C a 400°C quando a umidade encontra-se entre 35% e 40%. A temperatura da chama também é sensível à umidade e seu valor varia normalmente entre 850°C e 920°C com 50% umidade, mas pode alcançar valores acima de 1000°C quando a umidade é inferior a 35%.

A cinza do bagaço da cana-de-açúcar possui em sua composição química a sílica, um material que pode ser utilizado como um potencial aditivo pozolânico em argamassas. Estudos apontam a aplicação da cinza do bagaço com resultados de maior resistência e durabilidade, além de reduzir impactos ambientais decorrentes da reutilização desse resíduo que muitas vezes toma fins indevidos.

2.3 POZOLANA

Material pozolânico é definido pela NBR 5736 (ABNT, 1991) como materiais silicosos ou silicoaluminosos que por si só possuem pouca ou nenhuma atividade aglomerante, mas que, quando finamente divididos e na presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio, à temperatura ambiente, para formar compostos com propriedades cimentícias.

Material com as mesmas características iguais as citadas acima são considerada pozolânica, as quais podem ser divididas em naturais ou artificiais, sendo denominada como adições minerais. Um exemplo de material pozolânico, com grande uso nos dias atuais, é a argila calcinada, adquirindo propriedades pozolânicas em razão do desordenamento da estrutura cristalina (SOUTO, 2010).

As pozolanas são divididas em naturais e artificiais, a NBR 5736 (ABNT, 1991) relata que as naturais são aquelas provenientes de cinza vulcânica e as artificiais são as submetidas a tratamento térmico ou subproduto industrial com atividade pozolânica. Para Moraes, 2001 a sílica ativa apresenta algumas vantagens em relação às demais pozolanas artificiais, já que sua elevada reatividade se dá ao alto teor de sílica amorfa em sua composição, além da alta superfície específica que promove acréscimos nas resistências iniciais.

2.4 CAL HIDRATADA

A afirmação de que cal é usada para dar mais plasticidade a argamassa é verdadeira, ou seja, uma de suas funções é conferir maior trabalhabilidade a argamassa. Porém, a cal tem outra função muito importante em argamassas de assentamento e revestimento de alvenarias, que é o seu poder de retenção de água. Esse fator evita destacamentos entre a argamassa de assentamento e os componentes da alvenaria e minimiza a retração na secagem, tanto das argamassas de assentamento quanto das de revestimento (MITIDIARI FILHO, 2000).

Cal hidratada é definida pela NBR 7175 (ABNT, 2003) como pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituído essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

A exigência química do produto deve atender as especificações indicada na Tabela 2.

Tabela 2 - Exigência química da cal hidratada

Compostos		Limites		
		CH-I	CH-II	CH-III
Anidrido carbônico (CO ₂)	Na fábrica	≤ 5 %	≤ 5 %	≤ 13 %
	No depósito	≤ 7 %	≤ 7 %	≤ 15 %
Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO _t + MgO _t)		≤ 10 %	≤ 15 %	≤ 15 %
Óxidos totais na base de não-voláteis (CaO _t + MgO _t)		≥ 90 %	≥ 88 %	≥ 88 %

Fonte: NBR 7175 (ABNT, 2003)

2.5 AGREGADOS

Antes um material sem muita importância, os agregados passam a ocupar papel de grande importância técnica e econômica no concreto a partir dos anos 50 ganhando especial destaque ainda nos anos 90 (SBRIGHI, 2005).

Agregados são fragmentos de rochas, popularmente denominados ‘pedras’ e ‘areias’. Fragmentos de rochas do tamanho e propriedades adequadas são utilizados em quase todas as obras de infraestrutura civil, como edificações, pavimentação, barragens e saneamento. Esses materiais incluem, por exemplo, blocos, pedras, pedregulhos, cascalhos, seixos, britas, pedriscos, areias, etc. A faixa de tamanho desses fragmentos é bastante ampla, desde blocos com dezenas de centímetros, como os ‘enrocamentos’ usados em barragens, até partículas milimétricas, como os ‘agregados’ usados na confecção de concreto para a maioria das edificações (FARIAS; PALMEIRAS, 2010).

Os agregados são formados por processos de intemperismo e abrasão ou por britagem de grandes blocos da rocha-mãe. Sendo assim, muitas propriedades dos agregados dependem das propriedades da rocha-mãe, por exemplo, composição química e mineral, classificação petrográfica, massa específica, dureza, resistência, estabilidade física e química, estrutura dos poros, cor, etc. (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Agregado é a maior parte adicionada a argamassa, o que reduz a quantidade de cimento acrescida na mistura, diminui o custo final do produto e influencia as propriedades da argamassa.

Agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos (ALBUQUERQUE, 2008).

2.5.1 Dimensões dos agregados

As dimensões utilizadas no concreto ou argamassa é especificado por Neville e Brooks (2013, p. 42):

O concreto geralmente é produzido com agregados de dimensões máximas que variam de 10 mm a 50 mm, sendo 20 mm um valor típico. A distribuição das dimensões é denominada granulometria. Concretos de menor exigência de qualidade podem ser produzidos com agregados de jazidas que contêm toda variação de dimensões, dos maiores aos menores, denominados bica corrida. A alternativa mais usual e sempre utilizada para a produção de concretos de boa qualidade é a obtenção de agregados separados em duas partes; a separação principal é a dimensão de 5 mm ou a peneira ASTM N° 4, estabelecendo assim a divisão de entre agregados miúdos (areia) e agregados graúdos. Algumas vezes o termo agregado é utilizado para designar os agregados graúdos, de forma a distingui-los da areia, mas essa não é a denominação correta.

2.5.2 Composição granulométrica

A composição granulométrica mostra se o agregado é miúdo ou graúdo, ou seja, determina o tamanho do grão. A composição granulométrica é possível ser feita através de uma série de peneiras.

Tabela 3 - Série de peneiras

Série Normal	Série Intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
--	31,5 mm
--	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: NBR 248 (ABNT, 2003)

O processo de dividir uma amostra de agregado em frações de partículas da mesma dimensão é denominado análise granulométrica, e seu objetivo é determinar a graduação ou distribuição das dimensões do agregado. Uma amostra de agregado seca ao ar é classificada

por meio de agitação ou vibração de uma série de peneiras empilhadas em ordem decrescente, por um tempo especificado, de maneira que o material retido em cada peneira represente a fração de material maior que a peneira em questão, mas menor que a peneira acima (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Segundo a NBR 7211 (ABNT, 2008) a distribuição granulométrica, determinada segundo a ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003), deve atender aos limites estabelecidos na tabela 4.

Tabela 4 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites Superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

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.

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2008)

2.5.3 Massa Específica

A NBR 52 (ABNT, 2009) define massa específica como a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis. A massa específica é fundamental para definir o traço a ser utilizado, Neville e Brooks (2013, p. 51) explicam como é realizado o ensaio:

A massa específica normalmente é a grandeza necessária em tecnologia do concreto e pode ser obtida pela relação entre massa do agregado seco em estufa à temperatura de 100 a 110 °C durante 24 horas e a massa de água que ocupa um volume igual ao volume de sólidos, incluindo os poros impermeáveis. A massa de água é determinada com a utilização de um recipiente cuidadosamente preenchido com água até o volume determinado.

2.5.4 Massa unitária

A NBR 45 (ABNT, 2006) define massa unitária como sendo a relação entre massa e agregado lançado no recipiente de acordo com estabelecido na Norma e o volume desse recipiente, conforme tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Característica do recipiente

Dimensão característica do agregado (NM-ISO 3310-1)	máxima	Recipiente		
		Capacidade mínima	Diâmetro interior	Altura interior
Mm		dm³	mm	mm
$d \leq 37,5$		10	220	268
$37,5 < d \leq 50$		15	260	282
$50 < d \leq 75$		30	360	294

Fonte: NBR 45 (ABNT, 2006)

A massa unitária refere-se somente ao volume de partículas individuais, e não é fisicamente possível compactar essas partículas de maneira que não existam vazios entre elas. Portanto, quando o agregado vai ser proporcionado em volume, é necessário conhecer a sua massa unitária, definida como massa real necessária para preencher um recipiente de volume unitário, sendo esse valor utilizado para realizar conversões entre massa e volume (NEVILLE; BROOKS, 2013).

2.5.5 Porosidade e absorção

Porosidade, permeabilidade e absorção de água influenciam na aderência do concreto, na resistência do concreto ao gelo-degelo, bem como em sua estabilidade química, resistência à abrasão e massa específica. Os poros dos agregados apresentam grande variação de dimensões, mas mesmo os menores poros são maiores que os poros da pasta de cimento. Alguns poros dos agregados são totalmente internos, enquanto outros apresentam aberturas para a superfície das partículas, de forma a água poder penetrar. A quantidade e a velocidade da penetração dependem do tamanho da continuidade e do volume total de poros (NEVILLE; BROOKS, 2013).

2.5.6 Agregados miúdos

A NBR 7211 (ABNT, 2008) prescreve agregado miúdo como areia natural quartzosa ou artificial, resultante do britamento das rochas estáveis, cujos grãos passam pela peneira de abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,15mm.

2.6 ADITIVOS

Segundo a NBR 11768 (ABNT, 1992) aditivos são produtos adicionados em pequena quantidade em argamassa e concreto, que modificam suas propriedades tornando-os com melhores condições.

2.6.1 Aditivos minerais

Devido o cimento ser um material caro e que demanda um grande consumo de energia em sua fabricação, diversos resíduos tais como cinza volante, escória, borracha de pneus usados, resíduos de demolição e cinza do bagaço de cana-de-açúcar vem sendo empregados em argamassas e concretos. Essa combinação gera materiais mais econômicos e com menor gasto de energia. Segundo Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC, 2010) há mais de 50 anos, a indústria nacional de cimento utiliza adições, provenientes de subprodutos de outras atividades industriais e matérias primas alternativas, na composição de cimento.

Aditivos minerais têm função de somar ou substituir parcialmente o cimento por possuir propriedades semelhantes, diferentemente de aditivos químicos que alteram as características do cimento.

2.7 ÁGUA

A água é fundamental na execução da argamassa, responsável por gerar reação química no cimento e aditivo mineral. Neville e Brooks (2013, p. 74) descrevem a importância da substância ser de qualidade:

A qualidade da água é importante porque suas impurezas podem interferir na pega do cimento, afetar negativamente a resistência do concreto ou causar manchamento de superfície, podendo ainda levar à corrosão das armaduras. Por essas razões, a adequabilidade da água de amassamento e de cura deve ser verificada. Deve ficar clara a diferença entre efeitos da água de amassamento e o ataque do concreto

endurecido por águas agressivas, pois algumas destas últimas podem ser prejudiciais ou mesmo benéficas quando utilizadas na mistura. Em muitas especificações, a qualidade da água é definida por uma cláusula que estabelece que água potável seja adequada para o uso em concretos.

2.8 ARGAMASSA

Segundo o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON) 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.

A NBR 13281 (ABNT, 2005) define argamassa como sendo mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada).

2.9 APLICAÇÕES DA ARGAMASSA

Quadro 1 – Campos de aplicação das argamassas

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de assentamento • Argamassa de fixação
Para revestimento de paredes e tetos	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de chapisco • Argamassa de emboço • Argamassa de reboco • Argamassa de camada única • Argamassa para revestimento decorativo
Para revestimento de piso	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de contrapiso • Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimento cerâmico (paredes/piso)	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de assentamento de peças cerâmicas (colantes) • Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	<ul style="list-style-type: none"> • Argamassa de reparo

FONTE: Moraes (2009)

2.10 REVESTIMENTO

De acordo com a NBR 13529 (ABNT, 2013) revestimento de argamassa é a proteção de uma superfície porosa com uma ou mais camadas superpostas formando uma camada apta a receber de maneira adequada o acabamento final.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland as principais funções do revestimento de argamassa são:

- Proteger a base, usualmente de alvenaria e da ação direta dos agentes agressivos contribuindo para o isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e aos gases;
- Permitir que o acabamento final resulte numa base regular, adequada ao recebimento de outros revestimentos, de acordo com o projeto arquitetônico, por meio da regularização dos elementos de vedação.

Para se ter uma ideia numérica da importância do revestimento como elemento isolante, um revestimento de argamassa com espessura entre 30 a 40% da espessura da parede, pode ser responsável por 50% do isolamento acústico, 30% do isolamento térmico e contribuir em 100% pela estanqueidade de uma vedação de alvenaria comum.

Segundo (FIORITO, 2009, p.18) o revestimento é constituído por:

- chapisco 1:3;
- emboço de regularização com 2 cm de espessura e traço 1:2:9;
- argamassa de assentamento com 2 cm de espessura e traço 1:1/2:5 consumido por metro quadrado:

Tabela 6 – Estatística de consumo de cimento, cal e areia

	Cimento (kg)	Cal hidratada	Areia (m³)
Chapisco	2,92	-	0,0072
Emboço	3,24	3,24	0,0243
Assentamento	5,84	1,46	0,0243
Totais	12,00 kg	4,70 kg	0,0558

FONTE: Fiorito (2009)

Se 8400000 m²/mês desse revestimento fosse executado seria necessário:

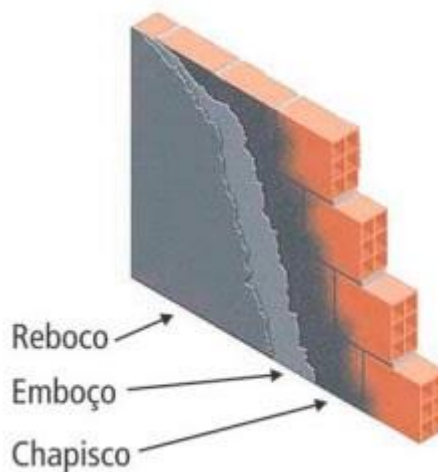
Tabela 7 – Estatística de consumo mensal de cimento, cal e areia

Material	Quantidade/mês
Cimento	100800 toneladas/mês
Cal hidratada	39480 toneladas/mês
Areia	468720 m ³ /mês

FONTE: Fiorito (2009)

2.10.1 Condições da base

Segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998) as bases de revestimento devem atender às exigências de planeza, prumo e nivelamento. A base a ser revestida deve estar limpa, livre de pó, graxa, óleo, eflorescência, materiais soltos ou quaisquer incrustações, já que a aderência do revestimento esta relacionada com o grau de absorção da base.

Figura 5 – Camadas da argamassa

Fonte: FILHO, A B.A. et al., (2001)

2.10.2 Revestimento chapisco

O chapisco deve ser aplicado com uma consistência fluída, assegurando maior facilidade de penetração da pasta de cimento na base a ser revestida e melhorando a aderência na interface revestimento-base, segundo a NBR 7200 (ABNT, 1998).

Segundo Ruduit (2009), dentre as qualidades de um revestimento de argamassa, a aderência ao substrato é uma das mais importantes, já que se relaciona a fatores como a durabilidade, aspecto, estanqueidade e segurança da edificação.

De acordo com Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007) os revestimentos em chapisco tem função de regularização da capacidade de aderência, em especial quando possui

uma superfície muito lisa ou com porosidade e capacidade de sucção inadequada, bem como em revestimentos sujeitos a solicitações mais severas, como revestimentos externo e de tetos.

2.10.3 Revestimento Emboço

Emboço é a camada regularizadora que deve cobrir a base, corrigir as irregularidades, prumos e alinhamento, sendo o elemento que proporciona uma capa impermeabilizadora das alvenarias. O traço depende do que vier a ser executado no acabamento.

Tabela 8 – Traço do emboço para diversas bases

BASES		MATERIAIS					
Tipo	Localização	Cimento	Cal hidratada	Pasta (2) de cal	Areia (1)	OBS	
Paredes	Superfícies externas	1,0	2,0	-	8,0 a 10,0	-	
	acima do nível do terreno	1,0	3,0	-	11,0 a 12,0	-	
		1,0	-	1,5	8,0 a 10,0	-	
		1,0	-	2,5	11,0 a 12,0	-	
		1,0	-	-	3,0 a 4,0	-	
	Superfícies externas em contato com o solo					Recomenda-se a incorporação de aditivo impermeabilizante a argamassa ou executar pintura impermeabilizante	
			1,0	2,0	-	8,0 a 10,0	-
			1,0	3,0	-	11,0 a 12,0	-
		Superfície interna	1,0	2,0	1,5	8,0 a 10,0	-
			1,0	-	2,5	11,0 a 12,0	-
Tetos (laje de concreto maciço ou laje mista)		-	1,0	-	2,0 a 3,5	no caso de execução de acabamento tipo barra lisa	
		-	-	1	1,5 a 3,0		
		1,0	-	-	3,0 a 4,0		
		1,0	2,0	-	9,0 a 10,0	-	
		Superfície externas e internas	1,0	3,0	-	11,0 a 12,0	-
			1,0	-	1,5	8,0 a 10,0	-
		1,0	-	2,5	11,0 a 12,0	-	

Fonte: Milito (2009, p. 160)

O emboço deve ter uma espessura média de 1,5cm, pois o seu excesso, além do consumo inútil, corre o risco de desprender, depois de seca. Infelizmente esta espessura não é uniforme porque os tijolos têm certas diferenças de medidas, resultando um painel de alvenaria, principalmente o interno, com saliências e reentrâncias que aumentam essa espessura (MILITO, 2009).

2.10.4 Revestimento Reboco

De acordo com a NBR 13529 (ABNT 2013a) reboco é a camada de revestimento utilizada para cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final.

O reboco é aplicado sobre a base, com desempenadeira de madeira e deverá ter uma espessura de 2mm até 5mm. Em paredes, a aplicação deve ser efetuada de baixo para cima, a superfície deve ser regularizada e o desempenamento feito com a superfície ligeiramente umedecida através de aspersão de água com brocha e com movimentos circulares. O acabamento final é efetuado utilizando uma desempenadeira com espuma (MILITO, 2009, p. 166).

2.11 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

2.11.1 Aderência e rugosidade

A propriedade básica e fundamental de um sistema de revestimento em argamassa é a aderência. A mesma se desenvolve através da ancoragem mecânica da argamassa com o substrato através das rugosidades e textura da interface, e também pela condição de atrito propiciada pelos compostos hidratados dos aglomerantes que penetram na porosidade do substrato. Assim, é fundamental que o substrato tenha determinada capacidade de sucção de água, para promover um caminho facilitado para o transporte dos compostos em hidratação do cimento. Substratos com sucção muito baixa promovem aderência baixa. A rugosidade da interface incrementa os valores de aderência conseguidos pela hidratação no interior do substrato (BAUER, 2010).

2.11.2 Retenção de água

A retenção de água corresponde à propriedade que confere à argamassa a capacidade de não alterar sua trabalhabilidade, mantendo-se aplicável por um período adequado de tempo quando sujeita a solicitações que provoquem perda de água, seja ela por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação (ALVES, DO Ó 2005).

2.11.3 Resistência mecânica

O cimento é o principal responsável pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento. Um aumento no teor de cimento da mistura aumenta diretamente as propriedades mecânicas. Apesar de este fato ser interessante do ponto de vista de alguns parâmetros, como a resistência de aderência à tração, o mesmo pode ser desfavorável caso o módulo de deformação da argamassa aumente demasiadamente, tornando os sistemas de revestimentos pouco deformáveis, o que contribui para o aumento do risco de fissuração (BAUER; SOUSA, 2005).

2.11.4 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma das mais importantes propriedades das argamassas no estado fresco, haja vista a sua obrigatoriedade para que possa ser convenientemente utilizada. Vários pesquisadores que estudam as argamassas de revestimento apontam definições acerca deste termo:

Quadro 2 – Definições da trabalhabilidade da argamassa

Autor	Definição
RILEM (1982)	Facilidade do operário trabalhar com a argamassa, que pode ser entendida como um conjunto de fatores inter-relacionados, conferindo boa qualidade e produtividade na sua aplicação. Considerando ainda que a consistência e a plasticidade são as propriedades reológicas básicas, que caracterizam a trabalhabilidade.
SELMO (1989)	Diz-se que uma argamassa de revestimento tem boa trabalhabilidade quando se deixa penetrar com facilidade pela colher de pedreiro, sem ser fluida; mantendo-se coesa – sem aderir à colher – ao ser transportada para a desempenadeira e lançada contra a base; e permanece úmida o suficiente para ser espalhada, cortada (operação de sarrafeamento) e ainda receber o tratamento superficial previsto.
CINCOTTO; SILVA; CARASEK (1995)	Propriedade que depende e resulta de várias outras, tais como: consistência, plasticidade, coesão, tixotropia e retenção de água, além da exsudação, tem pega e adesão inicial, e é diretamente relacionada com o julgamento subjetivo por parte do operário (no caso o pedreiro).
CARASEK (1996)	Habilidade de fluir ou espalhar-se sobre a superfície do componente do substrato, por suas saliências, protuberâncias e fissuras, definindo a intimidade do contato entre a argamassa e o substrato relacionando-se assim com a aderência e sua extensão.

FONTE: Sousa e Lara (2005)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CIMENTO

O cimento utilizado no estudo de caso foi o CP II F-32 da marca Tocantins, este aglomerante hidráulico é classificado como cimento composto, pois no processo de fabricação é acrescentado uma ou mais formas de sulfato de cálcio. A NBR 11578 (ABNT, 1991) determina a porcentagem que deve ter na composição conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Teor dos componentes do cimento composto

Sigla	Componentes (% em massa)		
	Clínquer + sulfatos de cálcio	Material pozolânico	Material Carbonático
CP-F-32	94 - 90	-	6 - 10

Fonte: NBR 11578 (ABNT, 1991)

As informações da quantidade de material que o fabricante utiliza está na Tabela 10 e as propriedades físico-química estão descritas no Quadro 3.

Tabela 10 – Composição química

Composição Química	
Nome do composto	Faixa de concentração (%)
Silicato tricálcico	20 - 70
Silicato dicálcico	10 - 60
Ferro-aluminato de cálcio	5 - 15
Sulfato de cálcio	2 - 10
Aluminato tricálcico	1 - 15
Carbonato de cálcio	0 - 5

Fonte: Votarantim Cimentos

Quadro 3 – Propriedades físico-química

Propriedades físico-químicas	
Estado físico	Na forma de pó fino
Cor	Cinza
PH em solução aquosa	$12 \leq \text{pH} \leq 14$
Ponto de ebulição	Não aplicável
Ponto de fusão	Não aplicável
Massa específica absoluta	$2,8 \leq \gamma_f \leq 3,2 \text{ g/cm}^3$ a 20°C
Pressão de vapor (mm Hg)	Não aplicável
Solubilidade em 100 mL de água	até 1,5 g/l a 20°C
Densidade relativa do vapor a 20 °C	Não aplicável
Ponto de Fulgor (vaso fechado)	Não aplicável
Massa específica aparente	0,9 a 1,2 g/cm ³ a 20°C
Temperatura de autoignição	Não aplicável
Limite de explosividade, % vol no ar	Nenhum
Velocidade de evaporação (acetato de butila = 1)	Não aplicável
Coefficiente de partição octamol / água	Não aplicável
Taxa de evaporação	Não aplicável

Fonte: Votorantim Cimentos

3.2 CAL

A cal hidratada é um pó obtido da hidratação da cal virgem e tem na sua composição hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, definição da NBR 7175 (ABNT, 2001). No experimento foi utilizada a cal denominada CH – III, da marca itaú, pertencente ao grupo votorantim, na qual vê-se as informações químicas na tabela 11 e físico-química no quadro 4.

Tabela 11 – Composição química da cal hidratada

Nome químico	Faixa de concentração (%)
Hidróxido de cálcio	65-78
Hidróxido de magnésio	15- 25
Carbonato de cálcio	<15
Óxido de cálcio	<15

Fonte: Votorantim

Quadro 4 – Propriedades físico-química da cal hidratada

Estado físico	Sólido (pó)
Cor	Branco a branco acizentado
PH em solução aquosa	12,4 a 25°C
Ponto de ebulição	Não aplicável
Ponto de fusão	Decompõe > 580 °C
Massa específica absoluta	2,08 - 2,34 g/cm ³
Pressão de vapor (mm Hg)	Não aplicável
Solubilidade em 100 mL de água	0,185g/l a 0°C; 0,071 g/l a 100°C
Densidade relativa do vapor a 20 °C	Não aplicável
Ponto de Fulgor (vaso fechado)	Não aplicável
Temperatura de auto-ignição	Não aplicável
Limite de explosividade, % vol no ar	Nenhum

Fonte: Votorantim

3.3 ENSAIOS

3.3.1 Ensaios com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar

3.3.1.1 Módulo de finura

Para verificação do módulo de finura do material foi utilizada a NBR 11579 (ABNT, 2013) que determina a finura do Cimento Portland por meio da peneira 75µm (nº 200).

Neste ensaio foi utilizado um fundo, uma peneira com abertura de malha de 75µm e a tampa, conforme Figura 6. Estes equipamentos estavam secos e limpos.

Figura 6 - Peneira e acessórios



Fonte: Autoras, 2015

Procedimentos do ensaio:

- a) Pesou 50 gramas do CBC, colocou sobre a tela da peneira;
- b) O operador segurou o conjunto com as duas mãos e imprimiu movimentos horizontais durante 3 minutos
- c) Foi retirado o excesso do material na parte inferior da tela da peneira com o auxílio de um pincel e uma flanela, conforme Figura 7.

Figura 7 - Retirando o material da parte inferior da peneira.



Fonte: Autoras, 2015

- d) Peneirou-se em movimentos suáveis de vai e vem por 15 minutos
- e) Peneirou novamente só que em movimentos rápidos de vai e vem durante 60 s mantendo a peneira ligeiramente inclinada
- f) Após a tela da peneira foi limpa e o material do fundo transferido para um recipiente (vidro-relógio).
- g) A massa do material passante foi de 0,3g atendendo a NBR 11579 (ABNT, 2013) que só despreza materiais com valores superiores a 0,5g;
- h) Obteve o resultado do módulo de finura através da seguinte fórmula:

$$F = \frac{RC}{M} X 100 \quad (1)$$

Onde:

F = índice de finura do cimento, em porcentagem

R = resíduo do cimento na peneira 75µm, em gramas

M = massa inicial do cimento, em g

C = fator de correção da peneira utilizada no ensaio, determinado de acordo com o disposto na EB-22, podendo estar compreendido no intervalo de $1,00 \pm 0,20$.

3.3.1.2 Massa específica

O método de ensaio 194 (DNER, 1998) estabelece a determinação da massa específica de cimento portland e materiais em pó. Para obtenção da massa específica foram realizados os seguintes procedimentos:

- a) Foi adicionado 200 cm³ de água em um frasco, deixado em repouso para que a água aderida às faces internas do frasco escorra, logo após foi introduzido 500g da CBC que foi agitado para eliminar bolhas de ar, de acordo com a Figura 8.
- b) A leitura do nível atingido pela água no frasco indica o volume em cm³.
- c) A massa específica foi calculada pela seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{500}{L - 200} \quad (2)$$

Onde:

γ = massa específica do agregado miúdo, expressa em g/cm³;

L = leitura no frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo).

Figura 8 - Adicionando água até a marca de 200 cm³.



Fonte: Autoras, 2015

3.3.2 Ensaio com agregado miúdo

3.3.2.1 Massa Específica

A NBR 52 (ABNT, 2009) determina como o ensaio deve ser realizado. Este procedimento é destinado a verificar a relação da massa do agregado seco e o seu volume, excluindo os poros permeáveis.

Antes de realizar o ensaio é necessário preparar a amostra. Nas seguintes etapas:

- a) a amostra deve ser constituída por 1 kg de agregado;
- b) deve ser colocada a amostra submersa em água por um período de 24 horas em repouso;
- c) retira-se a amostra da água e estende-a sobre uma superfície plana demonstrado na Figura 9(a), submetendo-a à ação de uma suave corrente de ar, revolvendo a amostra com frequência para assegurar uma secagem uniforme;
- d) colocar o agregado miúdo no molde, sem comprimi-lo; compacta sua superfície suavemente com 25 golpes com a haste de socamento e então levanta verticalmente o molde conforme a figura 9(b). Se ainda houver umidade superficial, o agregado conserva a forma do molde;

Figura 9 - Preparação da amostra para o ensaio

a)

a) espalhamento da amostra em superfície plana

b)

b) Retirada do molde e a amostra não ficou no formato do cone.

Fonte: Autoras

Depois de preparada a amostra é hora de começar o procedimento para verificação da massa específica do agregado. Da seguinte forma:

- a) pesa ($500,0 \pm 0,1$) g de amostra (ms), coloca no frasco e registra a massa do conjunto (m1), conforme figura 10(a). Enche o frasco com água até próxima da marca de 500 ml. Move-o de forma a eliminar as bolhas de ar e depois o coloca em um banho mantido, como está na figura 10(b).
- b) após 1 h, aproximadamente, completa com água até a marca de 500 cm³ e determina a massa total com precisão de 0,1 g (m2).
- c) retira o agregado miúdo do frasco e o seca à (105 ± 5) °C até obter massa constante ($\pm 0,1$ g). Deixa esfriar a temperatura ambiente e pesa-o com precisão de 0,1 g (m).

Figura 10 - Procedimento do ensaio

a)

b)

a) Pesagem do conjunto frasco e agregado b) deixando a amostra em banho por uma hora.

Fonte: Autoras

Os cálculos foram realizados utilizando as fórmulas a seguir:

$$d_1 = \frac{m}{V - V_a} \quad (3)$$

Onde:

d_1 , é a massa específica aparente do agregado seco, em gramas por centímetros cúbicos;

m , é a amostra seca em estufa;

V , é o volume do frasco, em centímetros cúbicos

V_a , é volume de água adicionada ao frasco, de acordo com a seguinte fórmula, em centímetros cúbicos:

$$V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a} \quad (4)$$

Onde:

m_1 , é a massa do conjunto (frasco + agregado), em gramas;

m_2 , é a massa total (frasco+agregado+água), em gramas;

ρ_a , é a massa específica da água, em gramas por centímetro cúbicos.

3.3.2.2 Massa Unitária

A massa unitária é a relação entre a massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente. As orientações para procedimento do ensaio é normatizado na NBR NM 45 (ABNT, 2006).

A amostra do ensaio deve ser constituída por aproximadamente 150 % da quantidade de material requerido para encher o recipiente e deve ser manipulada de forma a evitar segregação.

Deve-se secar a amostra de agregado até a massa constante, a NBR NM 45 (ABNT, 2006) determina que a temperatura tem que ser mantida a $105^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

O método escolhido para o ensaio é o A, pois a dimensão máxima do agregado não chega a 37,5 mm. Os procedimentos do ensaio foram os seguintes:

a) o recipiente foi escolhido conforme a tabela 1 da NBR NM 45 (ABNT, 2006) capacidade de 10 dm³, diâmetro interno 220 mm e altura de 268 mm, Figura 11:

Figura 11 - Recipiente escolhido.



Fonte: Autoras, 2015

- b) determinou e registrou a massa do recipiente vazio.
- b) encheu o recipiente com material até um terço de sua capacidade e nivelou com os dedos;
- c) adensou a camada mediante 25 golpes da haste de adensamento, distribuídos uniformemente em toda superfície do material e não alcançando o fundo do recipiente;
- d) continuou o enchimento do recipiente até completar os dois terços de sua capacidade e finalizou com a última camada e procedeu como explicado na alínea b e c;

- e) ao completar a ultima camada nivelou a superficie do agregado utilizando uma espátula, de forma a rasá-la com a borda superior do recipiente;
- f) determinou e registrou a massa do recipiente mais seu conteúdo, mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Determinação da massa do recipiente mais o material.



Fonte: Autoras, 2015

Os cálculos foram feitos com as fórmulas descrita na normatização que orienta quanto ao ensaio.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad (5)$$

Onde:

ρ_{ap} , é a massa unitária do agregado em quilograma por metro cúbico;

m_{ar} , é a massa do recipiente mais o agregado em quilogramas;

m_r , é a massa do recipiente vazio quilogramas;

V , é o volume do recipiente, em metros cúbicos.

3.3.2.3 Granulometria

A classificação granulometrica é um ensaio importantíssimo para determinar se o agregado é de boa qualidade ou não. Atraves da NBR 248 (ABNT, 2003) determina como o ensaio deve ser realizado. O procedimento constitui da seguinte maneira:

- a) obter massa de 500 gramas no material;

- b) colocar as peneiras em um agitador uma sobre a outra na seguinte sequencia de abertura da malha (em milímetros): fundo, 0,15, 0,3, 0,6, 1,18, 2,36 e 4,75. Demonstrado na Figura 3.8.
- c) despeja o material na peneira e agita por 2 minutos;
- d) verifica a massa de material que ficou retido em cada peneira.

Figura 13 - Jogo de peneiras na sequência para o ensaio.



Fonte: Autoras, 2015

3.4 DOSAGEM

A dosagem é a quantidade de cada material que é adicionado na mistura. É fundamental ter a caracterização dos materiais que estão sendo utilizado para que a mistura obtenha uma resistencia considerável e menor consumo de cimento, já que é o material mais caro.

Segundo Carneiro (1999) usualmente a composição e a dosagem das argamassas adotadas no Brasil são feitas com base em traços (massa ou volume) descritos ou especificados em normas internacionais ou nacionais, para argamassas de revestimentos tem-se adotado com mais frequência os traços de dosagem 1: 1: 6 (cimento: cal: areia) e 1: 2: 9, em volume, numa proporção aglomerante: agregado.

No experimento foi utilizado Cimento Portlant II F 32, a relação água/cimento foi igual à 0,5. Segue a tabela com os traços, quantidade unitária. No traço A foi utilizado apenas o Cimento Portland e no traço B tem adição de CBC.

Tabela 12 - Traços utilizados

Traços				
	Cimento	Cal	Areia	CBC
Traço A	1	1	6	0
Traço B	0,9	1	6	0,1

Fonte: Autores

3.5 EXECUÇÃO DO REVESTIMENTO

Na execução da alvenaria (para receber o revestimento em estudo) foram utilizados blocos cerâmicos assentados um por vez e inserido juntas rígidas (argamassa de assentamento) entre cada bloco a Figura 14 demonstra claramente o processo. Conforme a parede foi sendo levantada verificou o alinhamento através do prumo. O assentamento foi feito até a altura de 1,80 m e a largura da alvenaria teve 0,85 m.

Depois de pronta a parede começou a ser preparada para receber a argamassa de revestimento, que teve espessura de 25 mm. Colocaram-se as mestras com auxílio de um prumo e régua de alumínio. Na primeira etapa foi utilizada argamassa para chapiscar a área (Figura 3.9) procedimento feito para facilitar a aderência entre a parede e o emboço. Foram feitos chapiscos com o auxílio da brocha, e com a colher e desempenadeira de pedreiro, o concreto foi sendo chapado na alvenaria seguindo a espessura das mestras.

Figura 14 - Parede com chapisco.



Fonte: Autoras, 2015

Na segunda etapa foi realizado o emboço, a camada regularizadora, que cobriu o chapisco e corrigiu as irregularidades. Deixou a argamassa descansar para que ela perdesse um pouco de água para sarrafejar o local.

A terceira etapa constitui o reboco, o qual houve sarrafeamento com a régua de alumínio de cima para baixo seguindo as mestras. Com a desempenadeira de pedreiro iniciou-se o desempenho e acabamento da argamassa em movimentos circulares e umedecendo através de aspersão de água com brocha. O acabamento final foi efetuado utilizando uma desempenadeira com espuma. A Figura 3.10, está com as etapas do revestimento pronto.

Figura 15– Revestimento finalizado.



Fonte: Autoras, 2015

3.6 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Conforme as orientações da NBR 7215 (ABNT, 1997) foi realizado o ensaio de resistência a compressão. O procedimento inicial foi a moldagem dos corpos-de-prova, que se deu das seguintes etapas:

- Preparação da argamassa: colocou-se inicialmente toda a quantidade de água e foi adicionando o cimento na cuba. A mistura destes materiais foi executada com o misturador em velocidade baixa por 30 segundos. Sem parar de mexer foi acrescentada a areia (divida em quatro frações), imediatamente quando terminou a colocação da areia aumentou a velocidade do misturador para alta e bateu por 30 segundos. Deixou-se a argamassa em repouso durante 90 segundos, coberta com pano úmido. Após o intervalo ligou o misturador e bateu por mais 1 minuto, Figura 16:

Figura 16 - Mistura dos materiais na cuba.



Fonte: Autoras, 2015

- Moldagem dos corpos-de-prova: em ensaios de argamassas são utilizados moldes com dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. A colocação da argamassa nos moldes foi feita em quatro camadas com aproximadamente mesma altura, aplicando 30 golpes em cada camada com o soquete homogeneamente distribuídos, terminou o processo rasando o topo do corpo-de-prova com uma régua.

- Cura dos corpos-de-prova: a cura inicial é feita ao ar, durante 24 horas, depois de corrido este tempo os cp's são desmoldados e submersos em água até a idade de ruptura.

3.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA A TRAÇÃO

O ensaio foi embasado na NBR 13528 (ABNT, 2010) que determina o procedimento de resistência de aderência à tração em revestimento de paredes e tetos de argamassas. As seguintes etapas foram executadas durante o processo:

- Preparação dos corpos de provas das argamassas em paredes feitas de tijolos cerâmicos
- Ensaiou-se 12 (doze) corpos de prova para cada argamassa analisada sendo desconsiderados aqueles com menor e maior resultado.
- Aplicou-se a cola nas pastilhas com o auxílio de uma espátula
- Acoplou-se o equipamento na pastilha colada (Figura 17)

- Selecionou a taxa de carregamento em função da resistência a aderência e tração;
- Foram feitos os cortes circulares nos locais onde foram coladas as pastilhas;
- Usou-se uma escova e uma fita crepe para retirar as partículas que restaram após o arrancamento.
- Aplicou o esforço a tração perpendicular ao corpo de prova; Foram anotados os resultados da ruptura do corpo de prova, e mediu-se a espessura dos revestimentos e de suas camadas.

Figura 17 - Extração dos corpos-de-prova



Fonte: Autoras, 2015

Para calcular-se a resistência de aderência à tração foi utilizada a seguinte equação:

$$Ra = \frac{P}{A} \quad (6)$$

Onde:

Ra: Resistência de aderência à tração, em MPa

P: carga de ruptura, em N

A: área da pastilha, em mm

4 APRESENTAÇÃO E RESULTADOS DAS ANÁLISES

4.1 CINZA DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

4.1.1 Módulo de finura

O material retido na peneira de 75 μ m foi de 0,3g e a massa inicial do CBC utilizada no ensaio foi de 50,00g. C é o fator de correção e da peneira, ou seja, o valor seria 1,00 se a peneira apresentasse todos os seus orifícios desobstruídos, o que a tornaria a peneira ideal. No caso deste ensaio adotou o valor de C igual a 1, 00. Utilizando a equação 1 obteve como módulo de finura das cinzas do bagaço da cana-de-açúcar o valor de 0,6%.

4.1.2 Massa específica

Seguindo as orientações do método de ensaio 194 (DNER, 98), foi efetuada a leitura no frasco, nível da água com o CBC, na marca de 407 cm³ e usando a equação 2 determinou-se que a massa específica da cinza do bagaço de cana-de-açúcar é 2, 415 g/cm³.

4.2 AGREGADOS MIÚDOS

4.2.1 Massa específica

Realizando os procedimentos de ensaio conforme a norma técnica e utilizando as fórmula para o determinar a massa específica obteve como resultado o valor de 2,661 g/cm³, a Tabela 13 contém os dados utilizado para o cálculo. Este resultado está na média dos que habitualmente tem-se na região.

Tabela 13 – Resultado ensaio de massa específica.

	Massa (em gramas)		Volume de água adicionada no frasco (em cm ³)	Massa da amostra seca (em gramas)	Massa específica (g/cm ³)
	Conjunto (frasco+ agregado)	Total (frasco+agregado+água)			
Frasco 14	892	1204	313,1712605	499	2,671
Frasco 26	878	1189	312,1675065	498	2,651
Média					2,661

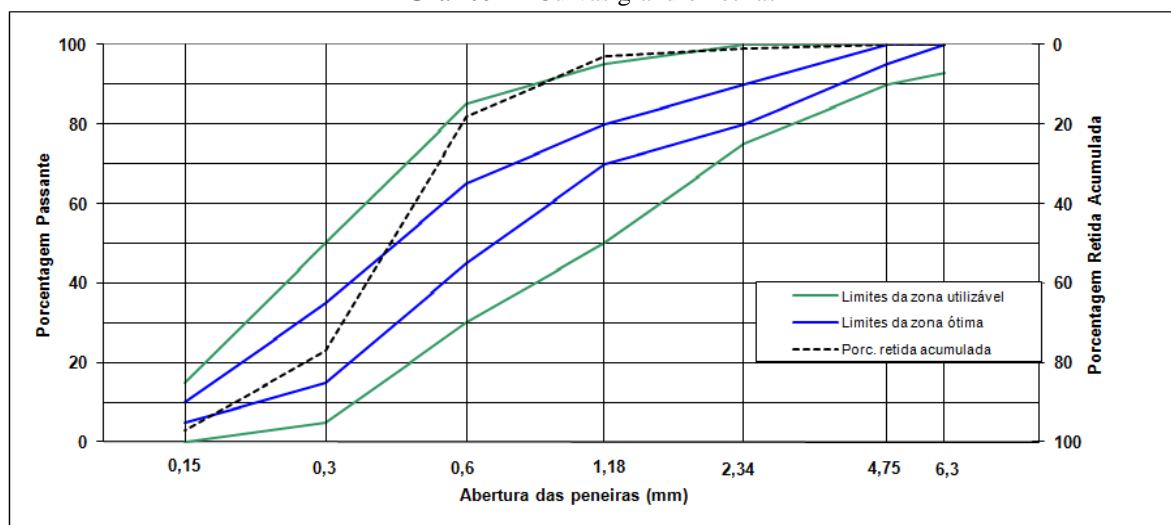
Fonte: Autoras, 2015

4.2.2 Massa unitária

A massa unitária foi calculada para o material seco e em estado solto, repetiu-se o procedimento de ensaio três vezes e fez-se uma média. Aplicando a fórmula descrita em 3.1.2.2 teve-se como resultado o valor de 1430 Kg/m³.

4.2.3 Granulometria

No ensaio realizado obteve o módulo de finura igual a 1,96. No Gráfico 1 contendo as curvas granulométricas com os limites definidos na NBR 7211 (ABNT, 2008), foi possível verificar que a areia teve pouco material retido na peneira com abertura de malha igual 300 µm e teve maior quantidade retida na peneira com abertura de malha igual a 1,18 mm. A curva ficou maior parte na zona utilizável tornando o material de boa qualidade podendo ser utilizado.

Gráfico 1 - Curvas granulométricas

Fonte: Autoras, 2015

4.3 ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Compressão axial

Depois de serem moldados os corpos-de-prova receberam a cura adequada, submerso em água até a idade de ruptura.

Para iniciar o ensaio de compressão foi realizado o capeamento, nivelamento das bases e do topo com disco de neoprene. Os cp's foram rompidos em três idades. Para início da ruptura limpou-se os pratos da prensa, o corpo de prova foi centralizado em relação ao eixo de carregamento, o carregamento é medido até seu ponto de cisalhamento. A velocidade de carregamento da máquina de ensaio deve ser equivalente a 0,25 MPa/s, podendo variar 0,05 MPa.

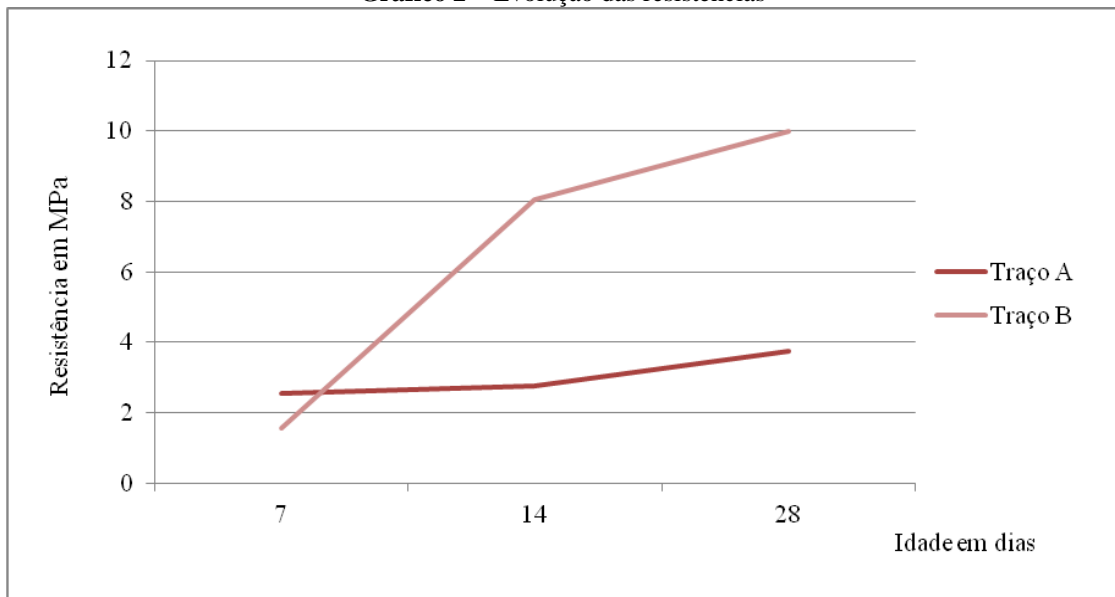
Os resultados alcançados estão descritos na Tabela 14, o qual na idade de sete dias a resistência do traço A é aproximadamente 40 % maior do que a do traço B. Enquanto que na idade de quatorze dias tem-se um ganho de 292% na resistência no traço B em relação ao traço A . Nos 28 dias de idade o traço B é 265% maior que o traço A.

Tabela 14 – Resistência a compressão axial

Idade	Resistência em Mpa	
	Traço A (Convencional)	Traço B (Com adição)
7	2,566	1,550
14	2,766	8,067
28	3,766	9,987

Fonte: Autoras, 2015

Nota-se que nas primeiras idades a resistência do traço A é maior que a do traço B. Com a adição do mineral a reação química é mais lenta, o calor de hidratação é menor reduzindo a resistência inicial da argamassa. Já no traço convencional a reação química é mais rápida e há maior liberação de calor, tornando as resistências iniciais maiores em comparação com o traço B. Nas idades posteriores aumenta-se bruscamente a resistência do traço B em relação ao traço A, tornando assim utilizável a substituição parcial do cimento Portland pelas cinzas de bagaço de cana-de-açúcar no requisito resistência de compressão axial. É possível observar no Gráfico 2 a evolução das resistências.

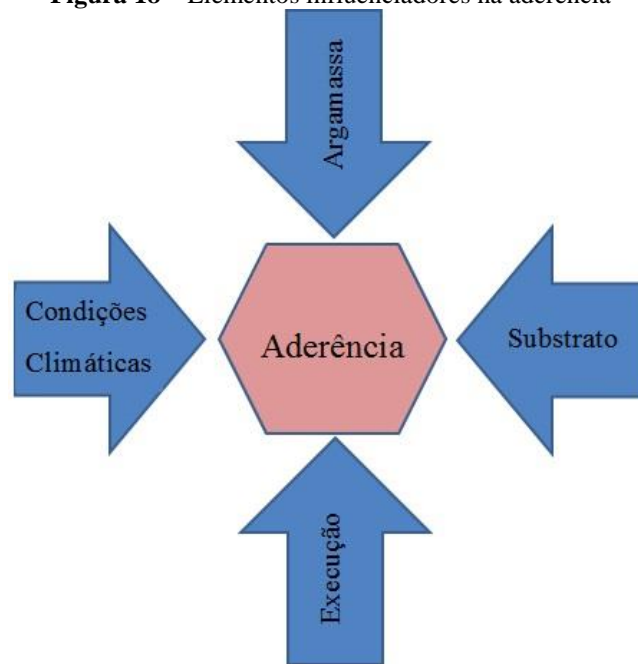
Gráfico 2 – Evolução das resistências

Fonte: Autoras, 2015

A resistência a compressão do revestimento deve ser maior que a resistência do bloco de vedação. Segundo a NBR 15270-1 (ABNT, 2005) a resistência mínima para blocos cerâmicos cujo os furos estão na horizontal é de 1,5 Mpa, e a resistência a compressão tanto no revestimento tradicional quanto no revestimento com adição de mineral são maiores que a do que a estrutura base.

4.3.2 Aderência a Tração

A resistência de aderência é influenciada por diversos fatores altamente variáveis, tais como os materiais da base, as características da argamassa, as condições climáticas, a energia de aplicação, etc. (Figura 18). O substrato influencia devido à variação de lotes na fabricação, por se tratar de materiais cerâmicos frágeis provenientes de uma queima, a probabilidade de dispersão de resultados na resistência a fratura é maior naqueles que já apresentam um defeito inicial que possa gerar uma futura fissura.

Figura 18 – Elementos influenciadores na aderência

Fonte: Autoras, 2015

A NBR 13749 (ABNT, 2013) que determina as especificações necessárias aos revestimentos diz que o mesmo poderá ser aceito se pelo menos quatro valores dos ensaios realizados forem iguais ou superiores aos da Tabela 15.

Tabela 15 – Especificações necessárias aos revestimentos

Local	Acabamento	Ra(MPa)
Parede interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,2$
	Cerâmica ou laminado	$\geq 0,3$
Parede externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,3$
	Cerâmica ou laminado	$\geq 0,3$
Teto	-	$\geq 0,2$

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013)

Quando a ruptura ocorre no interior da argamassa ou substrato, ela é do tipo coesiva, seus valores são menos preocupantes, a menos que sejam muito baixos. Quando a ruptura é do tipo adesiva, ou seja, ocorre nas interfaces do sistema, os valores devem ser mais elevados, pois existe maior potencial para a ocorrência de manifestações patológicas futuras (CARASEK, 2010).

Figura 19 – Disposição do revestimento no ensaio

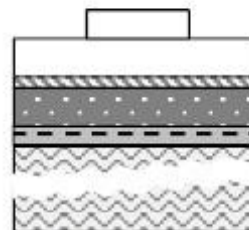


Fonte: Laboratório Carlos Campos.

Formas de rupturas apresentadas no ensaio do painel de argamassa convencional:

- Corpo de prova 01 e 04 – a seção da pastilha sofreu ruptura no substrato, nos casos a ruptura é do tipo coesiva.

Figura 20 – Disposição do revestimento no ensaio

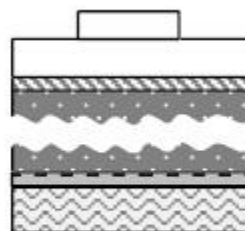


Ruptura no
substrato

Fonte: Laboratório Carlos Campos.

- Corpos de prova 02, 05, 06, 08, 09, 11 e 12 - na seção da pastilha apresentou 100% de argamassa, a ruptura ocorreu na camada do revestimento e é do tipo superficial.

Figura 21 – Disposição do revestimento no ensaio

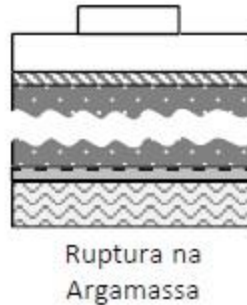


Ruptura na
Argamassa

Fonte: Laboratório Carlos Campos.

- Corpo de prova 03- a seção da pastilha apresentou 10% chapisco e 90% argamassa, ou seja, houve descolamento do chapisco e ruptura da camada do revestimento;

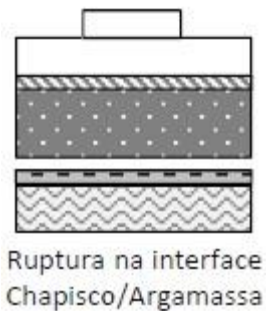
Figura 22 – Disposição do revestimento no ensaio



Fonte: Laboratório Carlos Campos.

- Corpos de prova 07 e 10 – a seção da pastilha apresentou ruptura 100% chapisco e argamassa, ruptura do tipo adesiva.

Figura 23 – Disposição do revestimento no ensaio

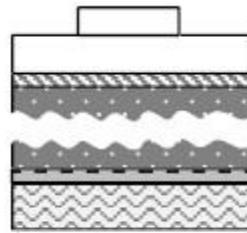


Fonte: Laboratório Carlos Campos.

Formas de rupturas apresentadas no ensaio do painel de argamassa com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar

- Corpo de prova 01, 02, 03, 08 e 09 - na seção da pastilha apresentou 100% de argamassa, a ruptura ocorreu na camada do revestimento, sofrendo assim uma ruptura superficial

Figura 24 – Disposição do revestimento no ensaio

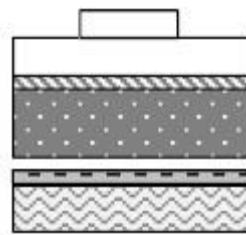


Ruptura na
Argamassa

Fonte: Laboratório Carlos Campos.

- Corpo de prova 04, 05, 07, 10, 11 e 12 - a seção da pastilha apresentou ruptura 100% chapisco e argamassa, ruptura do tipo adesiva

Figura 25 – Disposição do revestimento no ensaio

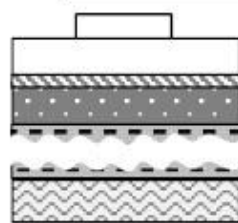


Ruptura na interface
Chapisco/Argamassa

Fonte: Laboratório Carlos Campos.

- Corpo de prova 06 – a seção da pastilha apresentou ruptura de 50% de chapisco e 50% argamassa, ruptura do tipo adesiva.

Figura 26 – Disposição do revestimento no ensaio



Ruptura no
Chapisco

Fonte: Laboratório Carlos Campos.

De acordo com os resultados (ANEXO B) realizados através de duas amostras de argamassa, pode-se afirmar que os resultados foram equivalentes já que a argamassa dosada

de modo convencional apresentou entre um grupo de doze ensaios, 06 resultados satisfatórios e a argamassa dosada com a cinza do bagaço da cana-de-açúcar foram obtidos também 06 resultados satisfatórios (levando em conta revestimento externo 0,3 MPa). A NBR 13528 (ABNT, 2010) especifica que seis dos dozes corpos de prova devem ser iguais ou superiores a 0,30 MPa para revestimentos externos (ou iguais ou superiores a 0,20 MPa, para revestimentos internos), vistos na Tabela 16. A Tabela 16 mostra a umidade do revestimento convencional e com adição de CBC, esse aspecto é bastante influente pois a aderência é menor em revestimentos com maior teor de umidade). Portanto, como o teor médio de umidade na argamassa com CBC foi menor subte-se que a mesma teve melhor resultado.

Tabela 16 – Umidade do revestimento

Umidade dos revestimentos (%)		
Nº	Argamassa convencional	Argamassa com CBC
1	4,4	2,3
2	4,2	3
3	3,8	2,9
MÉDIA	4,2	2,9

Fonte: Autoras, 2015

Na Tabela 17 pode-se observar a tensão de ruptura, a média e o coeficiente de variação de cada parede. O coeficiente de variação é uma medida estatística de dispersão de um conjunto de dados. Ao contrário do desvio padrão que tende a aumentar junto com a média, o CV (coeficiente de variação) tende a ficar normalizado.

Tabela 17 – Tensão de ruptura, média, desvio padrão e coeficiente de variação

(continua)

CP	Argamassa convencional			
	DN (mm)	Área (mm ²)	Carga Ra (N)	Tensão Ra (Mpa)
1	50	1962	736	0,3751
2	50	1962	736	0,3751
3	50	1962	892	0,4546
4	54	2289	127	0,0555
5	50	1962	892	0,4546
6	49	1885	637	0,3379
7	50	1962	481	0,2452
8	50	1962	353	0,1799
9	50	1962	127	0,0647
10	50	1962	284	0,1448

Tabela 17 – Tensão de ruptura, média, desvio padrão e coeficiente de variação

(conclusão)

Argamassa convencional				
CP	DN (mm)	Área (mm ²)	Carga Ra (N)	Tensão Ra (Mpa)
11	49	1885	539	0,2859
12	50	1962	765	0,3899
Média				0,2803
Desvio - Padrão (Mpa)				0,1417
Coeficiente de Variação (%)				51%

Fonte: Autoras, 2015

Tabela 18 – Tensão de ruptura, média, desvio padrão e coeficiente de variação

Argamassa Com CBC				
CP	DN (mm)	Área (mm ²)	Carga Ra (N)	Tensão Ra (Mpa)
1	50	1962	716	0,365
2	50	1962	1020	0,520
3	49	1885	1020	0,541
4	51	2042	667	0,327
5	50	1962	481	0,245
6	50	1962	686	0,350
7	50	1962	255	0,130
8	50	1962	481	0,245
9	51	2042	794	0,389
10	51	2042	127	0,062
11	51	2042	177	0,087
12	50	1962	353	0,180
Média				0,2867
Desvio - Padrão (Mpa)				0,1570
Coeficiente de Variação (%)				55%

Fonte: Autoras, 2015

Quanto menor o CV, menor a dispersão encontrada. É necessário que os CVs sejam os mais baixos possíveis, pois as manifestações patológicas não ocorrem na média e sim nos valores extremos (mais baixos). Como a parede convencional obteve menor dispersão, mostra que a mesma apresentou maior homogeneidade nas características e nas propriedades do revestimento, e não necessariamente apresentou pior resultado de resistência à aderência.

4.4 CUSTOS

Considerando o preço médio de uma tonelada de cimento Portland à R\$ 430,00 e uma tonelada de CBC à R\$ 40,26 no estudo realizado teríamos uma economia de 9,06% com

o uso do revestimento aplicado com CBC. Um valor que se calculado em grande escala, apresenta valores significativos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho constituiu-se na análise experimental do desempenho mecânico de argamassas de revestimento com diferentes resistências a compressão e tração. Foram estudados dois tipos de revestimento, um feito com método convencional e o outro com substituição parcial de 10% da cinza do bagaço da cana-de-açúcar pelo cimento portland.

Com a análise dos resultados foi possível verificar que a resistência a compressão na argamassa com substituição parcial do cimento Portland obteve uma resistência superior ao da argamassa convencional. Um aumento de 265% comparado com a argamassa dosada com materiais de uso tradicionais. Estes resultados possibilita a diminuição do quantitativo de cimento empregado na execução destes revestimentos, reduzindo custos e aumentando os benefícios.

Como resultado geral das análises efetuadas a partir dos valores obtidos, observou-se que a resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento apresentou resultados equivalentes para ambas as paredes considerando as tensões de ruptura que segundo a NBR 13749 (ABNT, 2013b) devem ser iguais ou maiores que 0,3Mpa. Entretanto a parede com adição de CBC apresentou menor teor de umidade do que a convencional, tendo assim melhor potencial de aderência da argamassa ao substrato. A análise do efeito da variação da resistência à tração da argamassa é estatisticamente significativa, já que a mesma é responsável pela capacidade de resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface com a base. De acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland, o fator mais importante para uma aderência adequada do revestimento é aquele em que a camada de argamassa tenha a maior extensão efetiva de contato possível com a base.

Segundo a Revista Construção Mercado (março 2003), revestimentos representam uma parcela de custo em cerca de 10 a 30% do total da construção, dependendo do tipo da edificação e do seu padrão. Construir com aditivos que melhoram as propriedades da argamassa e geram economias (financeira cerca de 9,06% e ambiental inestimável) é o objetivo do estudo feito nesse trabalho.

De um modo geral, observa-se uma melhor performance do revestimento com adição da cinza do bagaço da cana-de-açúcar no ensaio de compressão, resultados semelhantes com ao revestimento convencional no ensaio de tração a aderência, , porém apresentando teores menores de umidade e redução de gastos. Conclui-se que o estudo tem potencial de expansão para ensaios com substituições além dos 10% realizados, visto que a reutilização de um

recurso mineral que tem em muitos casos destinação final indevida, agregada resultados positivos em revestimentos de argamassa.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. S. “Agregados”. In: BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1994. v.1.
- ALVES, N. J. D.; DO Ó, S. W. **Aditivos incorporadores de ar e retentores de água**. In Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. Brasília-UNB, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimentos de argamassas** P.3. Disponível em: <[http://www.comunidadeconstrucao.com.br /upload /ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf](http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2014.
- _____. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland#.VQgtcY7F_W8>. Acesso em: 17 mar. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- _____. **NBR 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- _____. **NBR 52**: Agregados miúdos – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- _____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003c.
- _____. **NBR 5732**: Cimento Portland Comum. Rio de Janeiro: ABNT, 1991e.
- _____. **NBR 5736**: Cimento Portland Pozolânico. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.
- _____. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- _____. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- _____. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência a compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- _____. **NBR 7222**: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- _____. **NBR 7175**: Cal Hidratada Para Argamassa. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a.
- _____. **NBR 11578**: Cimento Portland Composto - Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

_____. **NBR 11579:** Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75 µm (nº 200). Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

_____. **NBR 11768:** Aditivo químico para concreto de cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. **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: ABNT, 2005c.

_____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

_____. **NBR 13281:** argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005e.

_____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência a tração. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

_____. **NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

_____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

_____. **NBR 15270-1:** Componentes cerâmicos Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Termologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Uma breve história do cimento Portland**. São Paulo. 2009. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland>>. Acesso em 05 abr. 2015.

BAUER, E. (Ed.). **Revestimentos de argamassa:** características e peculiaridades. Brasília: LEM-UnB/Sinduscon-DF, 2005.

BLOG IMPÉRIO ROMANO. **O fascinante mundo da história**. Rio de Janeiro. 2010. Disponível em: <<http://imperialroma.blogspot.com.br/2008/03/o-coliseu-tambm-conhecido-como.html>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

BRASIL. COMPANHIA NACIONAL DO ABASTECIMENTO. **Levantamento anual da safra de cana-de-açúcar**. Brasília, 2015. Disponível em <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_09_39_02_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_15-16.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2015.

_____. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cana-de-acucar>>. Acesso em: 17 mar. 2015.

BOCCHI, M. L. M. **Aplicação do bagaço da cana-de-açúcar aplicada na atualidade**. Boletim Técnico, FATEC, Jaboticabal, SP, Brasil, 2012.

BROOKS, J. J.; NEVILLE, A. M. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. In: Isaia, G.C. (ed.). São Paulo: Ibracon, 2010. p. 892-944.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. São Paulo, 1999. 203 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CINCOTTO, M. A.; SILVA; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios**. IPT – Instituto de Pesquisas tecnológicas, São Paulo, 1995.

COELHO, S. T. **Mecanismos para implementação da co-geração de eletricidade a partir de biomassa. Um modelo para o Estado de São Paulo**. Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 1999.

CORDEIRO, G. C. **Utilização de cinzas ultrafinas do bagaço de cana-de-açúcar e da casca de arroz como aditivos minerais em concretos**. Tese (Doutorado) – Rio de Janeiro–RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro – PEC/COPPE/UFRJ. 2006, 445p.

CORDEIRO G. C.; TOLEDO FILHO R. D.; TAVARES L. M.; FAIRBAIRN E. M. R., **Journal: Cement & Concrete Composites - CEMENT CONCRETE COMPOSITES**. vol. 30, no. 5, pp. 410-418, 2008

FARIAS, M. M.; PALMEIRAS, E.M. **Materiais de construção civil e princípios de Ciência e engenharia de materiais - Agregados para construção civil**. São Paulo: IBRACON, 2007.

FIESP/CIESP. **Ampliação da oferta de energia através da biomassa (bagaço da cana-de-açúcar)**. São Paulo: FIESP/CIESP, 2001.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**, 2. ed. São Paulo: Pini, 2009.

GEOGRAFIA DO BRASIL. **Cana-de-açúcar em São Paulo**. Disponível em <<http://www.brasilecola.com/brasil/a-canadeacucar-sao-paulo.htm>> Acesso em: 15 fev. 2015.

KAZMIERCZAK, C. S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. **Influência do substrato na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa**. Estudos tecnológicos, Rio Grande do Sul, v.3, jun.2007.

KIHARA, Y.; CENTURIONE, S. L.. O cimento Portland. In: *Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações*. Editor, Geraldo C. Isaia. 1ª Edição, v. 01. Editora Ibracon. São Paulo. 2005.

LORA, E. S.; ARRIETA, F. P.; CARPIO, R. C. Eletricidade a partir do bagaço de cana. 2001. In: Mello, M. G. (ed), *Biomassa – Energia dos trópicos em Minas Gerais*, Belo Horizonte: LabMídia, p. 59-81.

MALHOTRA, V. M. Introduction: sustainable development and concrete technology. *Concrete International*, v. 24, n. 7. 2002.

MILITO, J. A. D. **Técnicas de construção civil**. De Milito Projetos e Construções. Campinas, 2009.

MITIDIÉRI FILHO, C. V. Importância da cal como aglomerante numa argamassa. **Pini Web**, São Paulo, 12 dez. 2000. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/qual-a-importancia-da-utilizacao-da-cal-como-aglomerante-numa-84005-1.aspx>>. Acesso em: 21 abr. 2015.

MORAES, R. da C. **Efeitos físicos e pozolânico das adições minerais sobre a resistência mecânica do concreto**. Santa Maria, 20 dez. 2001. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/gepecon/diss/17fddc5a911ed43694ba86f8151fe1de.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2015.

PELLEGRINI, M. C. **Inserção de centrais cogeneradoras a bagaço de cana no parque energético do Estado de São Paulo: exemplo de aplicação de metodologia para análise dos aspectos locais e de integração energética**. Dissertação M.Sc., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, 2002.

RILEM, M. R. **The complex workability. – Consistence – Plasticity**. France, 1982

RUDUIT, F. R. **Contribuição ao estudo da aderência de revestimentos de argamassa e chapiscos em substrato**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre 2009.

SANTOS, Sílvia. **Concreto com sustentabilidade**. 2013. Santa Catarina. Disponível em: <http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=2660#.VXq4__lVhBd>. Acesso em: 12 set. 2014.

SBRIGHI NETO, C., In ISAIA, G.C. (Ed.) **Concreto: ensino, pesquisa realizações**. vol. 1, cap. 11, IBRACON – São Paulo, 2005.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo 1989.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C., ALSINA, O. L. S. **Utilização do bagaço de cana-deaçúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos**. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v.2, p.27-32, 2007.

SNIC-SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Press kit 2013**. P.4-7 Disponível em: <http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2013_PB.pdf>. Acesso em: 07 out. 2014.

_____. **Relatório anual de 2009**. Rio de Janeiro. 2010. 49p. Disponível em: <<http://www.snic.org.br/pdf/relat2009-10web.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2014.

SOUTO, J. M. F. **Avaliação do desempenho da cinza do bagaço de cana de açúcar na produção de concretos**. 2010, Dissertação de M.Sc.,UEM, Maringá, PR, Brasil.

SOUZA, J.G.G.; LARA, P. L. O. “Reologia e trabalhabilidade das argamassas”. In: ELTON BAUER. **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2005.

STRUBLE, L.; GODFREY, J. How sustainable is concrete? In: **International Workshop on Sustainable Development and Technology**, part II, Beijing, China, 2004 p. 219.

TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. Use of ultra-fine sugar cane bagasse ash as mineral admixture for concrete. **Materials Journal**. v. 105. nº 5. 2008.

TOSTA, L. I.; DE SOUZA, A. C.; DA SILVA, R. J. **Gestão da energia na produção de cimento Portland com uso de mineralizadores e combustíveis alternativos – XXVII Econtro Nacional de engenharia de produção – Universidade Federal de Itabajubá – UNIFEI, 2007**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2007_tr650480_0311.pdf>. Acesso em: 06 out. 2014

VOTORANTIM CIMENTOS, Cal Hidratada Itaú. **Ficha de informações de segurança de produto químico**. Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.votorantimcimentos.com.br/extras/pdf/FispqCalHidratadaItau.pdf>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

_____. **Ficha de informações de segurança de produto químico**. Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://www.votorantimcimentos.com.br/extras/pdf/CIMENTO.pdf>>. Acesso em : 30 abr. 2015.

ANEXOS

ANEXO A – Ensaio de resistência de aderência à tração para revestimento convencional



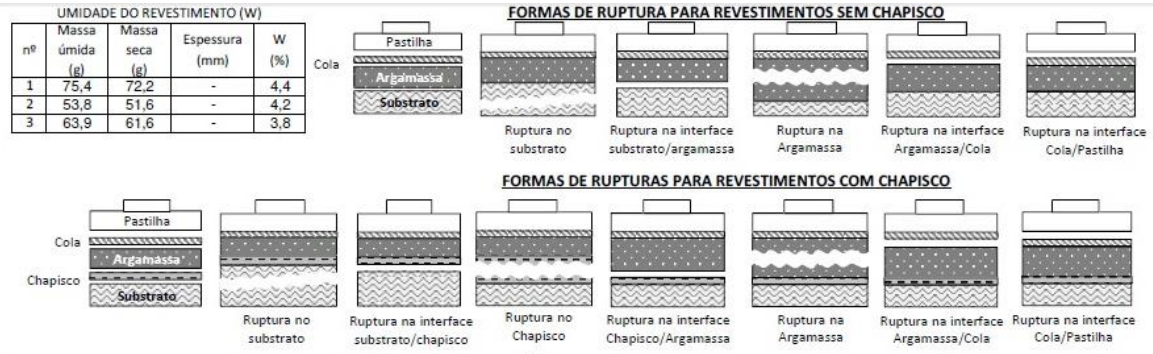
RELATÓRIO DE ENSAIO
 REVESTIMENTO DE PAREDES DE ARGAMASSA INORGÂNICAS
 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO - MÉTODO NBR 13528/10

Relatório nº: 1678-1/14
 Interessado: UNIEVANGÉLICA-TRABALHO DE TCC
 Endereço: Anápolis / Goiás
 Data: 22/10/2014

Página 1/1

Emissão desse relatório:
 29/10/2014

INFORMAÇÕES DO ENSAIO					EQUIPAMENTOS UTILIZADOS											
Identificação da amostra: Argamassa Procedência: Fabricada na obra Substrato: Bloco cerâmico Tipo de aplicação: Manual Idade do revestimento (dias): Superior a 28 dias Amostragem: Realizada pelo cliente Temp. do ar (°C): 28					Balança nº: 94 Equipamento de corte nº: 1 Paquímetro nº: 28 Dinamômetro de tração: 106 Estufa nº: 1 Termômetro nº: 203951 Termohigrômetro nº: 35 Cola utilizada: Universal											
Chapisco: Sim Argamassa: Cimento, cal e areia Local do ensaio: Obra Umidade relativa do ar (%): 56																
nº	Corpo de prova		Local do ensaio	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)										
	dm (mm)	Área (mm²)				Substrato	Substrato/Argamassa	Substrato/Chapisco	Chapisco	Chapisco/Argamassa	Argamassa	Argamassa/Cola	Cola	Cola/Pastilha		
1	50	1962	Junta	736	> 0,38	100	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	50	1962	Junta	736	> 0,38	-	NA	-	-	-	100	-	-	-	-	-
3	50	1962	Junta	892	0,45	-	NA	10	-	90	-	-	-	-	-	-
4	54	2289	Bloco	127	> 0,06	100	NA	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	50	1962	Bloco	892	> 0,45	-	NA	-	-	-	100	-	-	-	-	-
6	49	1885	Bloco	637	> 0,34	-	NA	-	-	-	100	-	-	-	-	-
7	50	1962	Junta	481	0,25	-	NA	-	-	100	-	-	-	-	-	-
8	50	1962	Junta	353	> 0,18	-	NA	-	-	-	100	-	-	-	-	-
9	50	1962	Junta	127	> 0,06	-	NA	-	-	-	100	-	-	-	-	-
10	50	1962	Bloco	284	0,14	-	NA	-	-	100	-	-	-	-	-	-
11	49	1885	Bloco	539	> 0,29	-	NA	-	-	-	100	-	-	-	-	-
12	50	1962	Bloco	765	> 0,39	-	NA	-	-	-	100	-	-	-	-	-



REFERÊNCIAS NORMATIVAS

De acordo com a NBR 13528/10, no caso da ruptura na interface substrato/argamassa, substrato/chapisco e chapisco/argamassa, o valor da resistência de aderência à tração é igual ao valor obtido no ensaio.

LIMITES DE RESISTÊNCIA (Ra) - NBR 13749/96		
LOCAL	ACABAMENTO	Ra (MPa)
Parede interna	Pintura ou base para reboco	≥0,20
	Cerâmica ou laminado	≥0,30
Parede externa	Pintura ou base para reboco	≥0,30
	Cerâmica ou laminado	≥0,30
Teto	-	≥0,20

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio foi realizado conforme o método de ensaio descrito na norma NBR 13528/10.

RESPONSÁVEIS:

Alves Marcos
 Auxiliar de Laboratório

Denilson Pereira Rocha
 Chefe Lab. Materiais / Eng. Civil - CREA 20459/D-GO

OCORRÊNCIAS/OBSERVAÇÕES:

Painel 1: Chapisco convencional.

ANEXO B – Ensaio de resistência de aderência à tração para revestimento com CBC



RELATÓRIO DE ENSAIO

REVESTIMENTO DE PAREDES DE ARGAMASSA INORGÂNICAS
DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO - MÉTODO NBR 13528/10

Relatório nº: 1678-G/14

Página 1/1

Interessado: UNIEVANGÉLICA-TRABALHO DE TCC

Endereço: Anápolis / Goiás

Datas:

Realização do ensaio:
22/10/2014

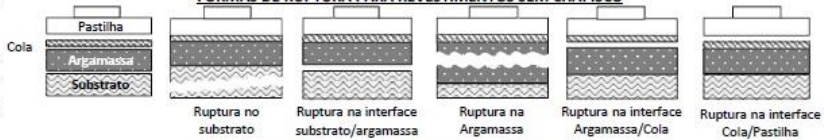
Emissão desse relatório:
29/10/2014

INFORMAÇÕES DO ENSAIO						EQUIPAMENTOS UTILIZADOS								
Identificação da amostra: Argamassa						Balança nº: 94								
Procedência: Fabricada na obra						Equipamento de corte nº: 4								
Substrato: Bloco cerâmico						Paquímetro nº: 28								
Tipo de aplicação: Manual						Dinamômetro de tração: 106								
Idade do revestimento (dias): Superior a 28 dias						Estufa nº: 1								
Amostragem: Realizada pelo cliente						Termômetro nº: 203951								
Temp. do ar (°C): 28						Termohigrômetro nº: 35								
						Cola utilizada: Universal								
						Umidade relativa do ar (%): 56								
nº	Corpo de prova		Local do ensaio	Carga de Ruptura (N)	Tensão Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)								
	dm (mm)	Área (mm²)				Substrato	Substrato/Argamassa	Substrato/Chapisco	Chapisco	Chapisco/Argamassa	Argamassa	Argamassa/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	50	1962	Junta	716	> 0,36	-	NA	-	-	-	100	-	-	-
2	50	1962	Junta	1020	> 0,52	-	NA	-	-	-	100	-	-	-
3	49	1885	Junta	1020	> 0,54	-	NA	-	-	-	100	-	-	-
4	51	2042	Bloco	667	0,33	-	NA	-	-	100	-	-	-	-
5	50	1962	Bloco	481	0,24	-	NA	-	-	100	-	-	-	-
6	50	1962	Bloco	686	0,35	-	NA	-	-	50	50	-	-	-
7	50	1962	Bloco	255	0,13	-	NA	-	-	100	-	-	-	-
8	50	1962	Bloco	481	> 0,24	-	NA	-	-	-	100	-	-	-
9	51	2042	Bloco	794	> 0,39	-	NA	-	-	-	100	-	-	-
10	51	2042	Bloco	127	0,06	-	NA	-	-	100	-	-	-	-
11	51	2042	Bloco	177	0,09	-	NA	-	-	100	-	-	-	-
12	50	1962	Bloco	353	0,18	-	NA	-	-	100	-	-	-	-

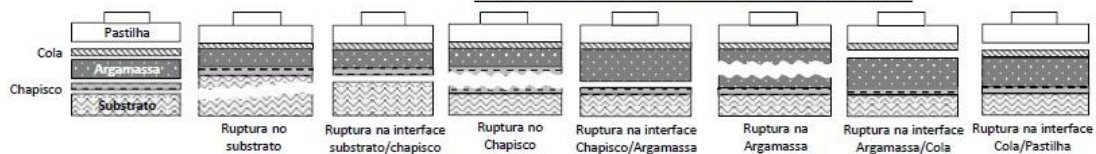
UMIDADE DO REVESTIMENTO (W)

nº	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Espessura (mm)	W (%)
16	40,9	40,0	-	2,3
17	68,7	66,7	-	3,0
18	65,9	64,1	-	2,9

FORMAS DE RUPTURA PARA REVESTIMENTOS SEM CHAPISCO



FORMAS DE RUPTURAS PARA REVESTIMENTOS COM CHAPISCO



REFERÊNCIAS NORMATIVAS

De acordo com a NBR 13528/10, no caso da ruptura na interface substrato/argamassa, substrato/chapisco e chapisco/argamassa, o valor da resistência de aderência à tração é igual ao valor obtido no ensaio.

LIMITES DE RESISTÊNCIA (Ra) - NBR 13749/96

LOCAL	ACABAMENTO	Ra (MPa)
Parede interna	Pintura ou base para reboco	≥0,20
	Cerâmica ou laminado	≥0,30
Parede externa	Pintura ou base para reboco	≥0,30
	Cerâmica ou laminado	≥0,30
Teto	-	≥0,20

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ensaio foi realizado conforme o método de ensaio descrito na norma NBR 13528/10.

RESPONSÁVEIS:

Alves Marcos
Auxiliar de Laboratório


Denilson Pereira Rocha
Chefe Lab. Materiais / Eng. Civil - CREA 20459/D-GO

OCORRÊNCIAS/OBSERVAÇÕES:

Argamassa com cinza do bagaço de cana.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Análise dos custos na execução da parede e em aplicações em maiores escalas

ANÁLISE DE CUSTOS

Dados do revestimento e da parede:

- Comprimento: 0,85m
- Altura: 1,80m
- Tipo de elemento: tijolos cerâmico furado, dimensões 9x 14 x 24 cm
- Espessura das juntas: 1 cm;
- Tipo de assentamento: uma vez (deitado);
- Espessura: 14 cm , sem os revestimentos;
- Argamassa de assentamento: cimento, cal hidratada e areia grossa lavada.

Argamassas de revestimento convencional:

- Chapisco - cimento e areia grossa lavada;
- Emboço - cal hidratada e areia média lavada;
- Reboco - cal hidratada e areia fina lavada;

Argamassas de revestimento com CBC:

- Chapisco - cimento e areia grossa lavada
- Emboço - cimento, cal hidratada, areia média lavada.
- Reboco - cal hidratada , areia fina lavada e cinza do bagaço da cana de açúcar

Pesos específicos médios considerados:

- Cimento portland comum - 1200kg/m³
- Cal hidratada - 1700kg/m³
- Areia fina seca - 1400kg/m³

- Areia média seca - 1500kg/m³
- Areia grossa seca - 1700kg/m³

Cálculo da quantidade de tijolos

1. Área da parede: $0,85 \times 1,80 = 1,53 \text{ m}^2$
2. Área de 1 tijolo, incluindo juntas: $0,25\text{m} (25\text{cm}) \times 0,1\text{m} (10\text{cm}) = 0,025\text{m}^2$
3. Quantidade de tijolos por m²: $1,00\text{m}^2 \div 0,025\text{m}^2 = 40 \text{ peças}$
4. Quantidade de tijolos para 1,530m²: $1,53 \times 40 = 62 \text{ peças}$

CÁLCULO DAS QUANTIDADES PARA A ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO (TRAÇO 1:2:8)

1. Área de 1 tijolo, excluindo juntas: $0,24\text{m} (24\text{cm}) \times 0,09 (9\text{cm}) = 0,0216\text{m}^2$
2. Área de 40 tijolos: $40 \times 0,0216 = 0,864\text{m}^2$
3. Área das juntas: $1,00 - 0,864 = 0,136\text{m}^2$
4. Volume de argamassa de assentamento por m²: $0,136\text{m}^2 \times 0,14\text{m} (14 \text{ cm}) = 0,019\text{m}^3$
5. Volume de argamassa de assentamento para 1,53m²: $1,53 \times 0,019 = 0,29\text{m}^3$
 - Volume de cimento, considerando 1 parte sobre 11 = $0,29 \div 11 = 0,026\text{m}^3$
 - Peso de cimento, considerando um peso específico de 1200kg/m³ = $0,026 \times 1200 = 31,63\text{kg}$
 - Volume de cal, considerando 2 partes sobre 11 = $0,026 \times 2 = 0,052\text{m}^3$
 - Peso de cal, considerando um peso específico de 1700kg/m³ = $0,052 \times 1700 = 88,4\text{kg}$
 - Volume de areia, considerando 8 partes sobre 11 = $0,026 \times 8 = 0,208\text{m}^3$
 - Peso de areia grossa, considerando um peso específico de 1700kg/m³ = $0,208 \times 1700 = 353,6\text{kg}$

CÁLCULO DAS QUANTIDADES PARA O REVESTIMENTO CONVENCIONAL (TRAÇO 1:1:6)

1. Volume de chapisco para 1,53m², considerando espessura de 5mm: $1,53\text{m}^2 \times 0,005\text{m} (5\text{mm}) = 0,00765\text{m}^3$
 - Volume de cimento, considerando 1 parte sobre 8 = $0,00765 \div 8 = 0,000956\text{m}^3$
 - Peso de cimento, considerando um peso específico de 1200kg/m³ = $0,000956\text{m}^3 \times 1200 = 1,15 \text{ kg}$

- Volume de areia, considerando 6 partes sobre 8 = $0,000956 \times 6 = 0,0057\text{m}^3$
 - Peso de areia grossa, considerando um peso específico de $1700\text{kg}/\text{m}^3 = 0,0057 \times 1700 = 9,75\text{kg}$
- 2. Volume de emboço para $1,53\text{m}^2$, considerando espessura de 20mm: $1,53\text{m}^2 \times 0,02\text{m}$ (20mm) = $0,0306\text{m}^3$
 - Volume de cimento, considerando 1 parte sobre 8 = $0,0306 \div 8 = 0,0038\text{m}^3$
 - Peso de cimento, considerando um peso específico de $1200\text{kg}/\text{m}^3 = 0,0038 \times 1200 = 4,59\text{kg}$
 - Volume de cal, considerando 1 partes sobre 8 = $0,0038 \times 1 = 0,0038\text{m}^3$
 - Peso de cal, considerando um peso específico de $1200\text{kg}/\text{m}^3 = 0,0038 \times 1700 = 6,46\text{kg}$
 - Volume de areia, considerando 6 partes sobre 8 = $0,0038 \times 6 = 0,0228\text{m}^3$
 - Peso de areia média, considerando um peso específico de $1500\text{kg}/\text{m}^3 = 0,0228 \times 1500 = 34,2\text{kg}$
- 3. Volume de reboco para $1,53\text{m}^2$, considerando espessura de 5mm: $1,53\text{m}^2 \times 0,005\text{m}$ (5mm) = $0,00765\text{m}^3$
 - Volume de cimento, considerando 1 parte sobre 8 = $0,00765 \div 8 = 0,000956\text{m}^3$
 - Peso de cimento, considerando um peso específico de $1200\text{kg}/\text{m}^3 = 0,000956 \times 1200 = 1,15\text{kg}$
 - Volume de cal, considerando 1 parte sobre 6 = $0,00765 \div 6 = 0,001275\text{m}^3$
 - Peso de cal, considerando um peso específico de $1200\text{kg}/\text{m}^3 = 0,001275 \times 1700 = 2,17\text{kg}$
 - Volume de areia, considerando 6 partes sobre 8 = $0,001275 \times 6 = 0,00765\text{m}^3$
 - Peso de areia fina, considerando um peso específico de $1400\text{kg}/\text{m}^3 = 0,00765 \times 1400 = 10,71\text{kg}$

CÁLCULO DAS QUANTIDADES PARA O REVESTIMENTO COM CBC

(TRAÇO 0,9:1:6:0,1)

1. Volume de chapisco para $1,53\text{m}^2$, considerando espessura de 5mm: $1,53\text{m}^2 \times 0,005\text{m}$ (5mm) = $0,00765\text{m}^3$.
 - Volume de cimento, considerando 0,9 parte sobre 8 = $0,00765 \div 8 = 0,000956\text{m}^3$.

- Peso de cimento, considerando um peso específico de $1200\text{kg/m}^3 = 0,000956\text{m} \times 1200 = 1,15\text{ kg}$.
 - Volume de areia, considerando 6 partes sobre 8 $= 0,000956 \times 6 = 0,0057\text{m}^3$
 - Peso de areia grossa, considerando um peso específico de $1700\text{kg/m}^3 = 0,0057 \times 1700 = 9,75\text{kg}$.
2. Volume de emboço para $1,53\text{m}^2$, considerando espessura de 20mm: $1,53\text{m}^2 \times 0,02\text{m}$ (20mm) $= 0,0306\text{m}^3$
- Volume de cimento, considerando 0,9 parte sobre 8 $= 0,0306 \div 8 = 0,0038\text{m}^3$
 - Peso de cimento, considerando um peso específico de $1200\text{kg/m}^3 = 0,0038 \times 1200 = 4,131\text{kg}$
 - Volume de cal, considerando 1 partes sobre 8 $= 0,0038 \times 1 = 0,0038\text{m}^3$
 - Peso de cal, considerando um peso específico de $1200\text{kg/m}^3 = 0,0038 \times 1700 = 6,46\text{kg}$
 - Volume de areia, considerando 6 partes sobre 8 $= 0,0038 \times 6 = 0,0228\text{m}^3$
 - Peso de areia média, considerando um peso específico de $1500\text{kg/m}^3 = 0,0228 \times 1500 = 34,2\text{kg}$
 - Cinza da cana-de-açúcar= 10% do cimento (0,459kg e acrescentado a CBC) $= 0,459\text{kg}$
3. Volume de reboco para $1,53\text{m}^2$, considerando espessura de 5mm: $1,53\text{m}^2 \times 0,005\text{m}$ (5mm) $= 0,00765\text{m}^3$
- Volume de cal, considerando 1 parte sobre 6 $= 0,00765 \div 6 = 0,0013\text{m}^3$
 - Peso de cal, considerando um peso específico de $1200\text{kg/m}^3 = 0,0013 \times 1700 = 2,17\text{kg}$
 - Volume de areia, considerando 6 partes sobre 8 $= 0,0013 \times 6 = 0,0078\text{m}^3$
 - Peso de areia fina, considerando um peso específico de $1400\text{kg/m}^3 = 0,0078 \times 1400 = 10,92\text{kg}$
 - Cinza da cana-de-açúcar= 10% do cimento (0,459kg e acrescentado a CBC) $= 0,459\text{kg}$

Importante:

- Cimento e areia medidos secos e soltos. Cal hidratada medida em estado pastoso firme.
- Para cada m^3 de argamassa, são consumidos de 350 a 370 litros de água limpa.

- Considerar um acréscimo de 5% nas quantidades dos materiais a título de taxa de quebra.
- No caso de tijolos furados, considerar um acréscimo de 5% nas quantidades dos materiais para argamassa de assentamento.
- Os pesos específicos considerados para os diferentes materiais são médias estimadas. O peso específico da CBC não foi levado em conta.

Analisando o revestimento da parede executada, com a substituição parcial em 10% do cimento Portland pela cinza do bagaço da cana-de-açúcar, teríamos uma economia em média de 9,06% (levando em conta o preço de R\$ 21,50 no saco de 50kg de cimento):

PREÇO MÉDIO DO CIMENTO E DA CBC

Preço médio por tonelada	
CBC	R\$ 40,26
Cimento Portland	R\$ 430,00

Fonte: Autoras, 2015

ECONOMIA NA EXECUÇÃO DA PAREDE – 1,80 X 0,85m

	Cimento (kg)	Cinza (kg)	em reais	Economia
Parede convencional	4,59	-	R\$ 1,97	
Parede com CBC	4,131	0,459	R\$ 1,79	R\$ 0,18

Fonte: Autoras, 2015

Para valores em maior escala da quantidade de quilogramas de cimento, teríamos uma economia de:

ECONOMIA PARA USO DE 1000 KG DE CIMENTO

	Cimento (kg)	Cinza (kg)	em reais	Economia
Parede convencional	1000	-	R\$ 430,00	
Parede com CBC	900	100	R\$ 391,03	R\$ 38,97

Fonte: Autoras, 2015

ECONOMIA PARA USO DE 10000 KG DE CIMENTO

	Cimento (kg)	Cinza (kg)	em reais	Economia
Parede convencional	10000	-	R\$ 4.300,00	
Parede com CBC	9000	1000	R\$ 3.910,26	R\$ 389,74

Fonte: Autoras, 2015

ECONOMIA PARA USO DE 100000 KG DE CIMENTO

	Cimento (kg)	Cinza (kg)	em reais	Economia
Parede convencional	100000	-	R\$ 43.000,00	
Parede com CBC	90000	10000	R\$ 38.740,26	R\$ 4.259,74

Fonte: Autoras, 2015

