



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**CAMPUS II - CAMPINA GRANDE**

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CAULIM EM  
ARGAMASSA DE ALVENARIA**

**ARETUZA KARLA ARAÚJO DA ROCHA**

**CAMPINA GRANDE**

**JULHO-2005**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL



INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CAULIM EM  
ARGAMASSA DE ALVENARIA

**ARETUZA KARLA ARAÚJO DA ROCHA**

Campina Grande – Paraíba

Julho, 2005

**ARETUZA KARLA ARAÚJO DA ROCHA**

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CAULIM EM ARGAMASSA DE  
ALVENARIA**

**Área de Concentração**

**Geotecnia**

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves**

**Prof. Ph.D. João Batista Queiroz de Carvalho**

**Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento**

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Djane de Fátima Oliveira**

**Campina Grande – Paraíba**

**Julho de 2005**



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

**INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE CAULIM EM ARGAMASSA DE  
ALVENARIA**

**Aretuza Karla Araújo da Rocha**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves**

**Prof. Ph.D. João Batista Queiroz de Carvalho**

**Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento**

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Djane de Fátima Oliveira**

**Campina Grande, Julho de 2005**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCC

R627i Rocha, Aretuza Karla Araújo da  
Incorporação de resíduo de caulim em argamassa de alvenaria / Aretuza Karla  
Araújo da Rocha. — Campina Grande: UFCC, 2005.  
93f. : il. color.

Inclui bibliografia.

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

Orientador: Gelmires de Araújo Neves.

1— Engenharia Civil- Argamassa 2— Reciclagem 3— Resíduo Sólido-Caulim  
I— Título

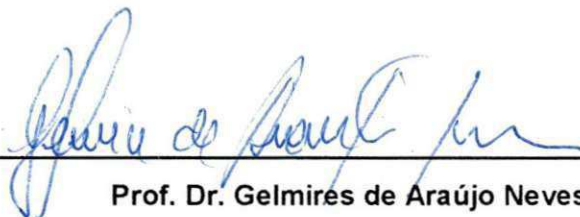
CDU 624-033.21

Aretuza Karla Araújo da Rocha

**INCORPORÇÃO DE RESÍDUO DE CAULIM EM ARGAMASSA DE  
ALVENARIA**

Dissertação Defendida em: 13 / 07 / 2005


**Banca Examinadora:**



---

Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves


Universidade Federal de Campina Grande – UFCG  
(Orientador)



---

Prof. Ph.D. João Batista Queiroz de Carvalho

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG  
(Co-Orientador)



---

Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG  
(Examinador Externo)



---

Prof.ª. Dra. Djane de Fátima Oliveira

Universidade Estadual da Paraíba – UEPB  
(Examinador Externo)

Campina Grande - Paraíba

## DEDICATÓRIA

---

A Deus,

À meus pais Geraldo Carlos da Rocha

e Maria Araújo da Rocha.

## **AGRADECIMENTOS**

As nossas conquistas são frutos de muito esforço, dedicação e colaboração de muitos, que foram de essencial importância para a conclusão deste trabalho, por isso aproveito a oportunidade para extremar a minha admiração e gratidão a aqueles que direto ou indiretamente colaboraram para a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Gelmires de Araújo Neves, pelo apoio constante. Obrigado por ter acreditado no meu potencial.

Ao Prof. Dr. João Batista Queiroz de Carvalho, co-orientador desta dissertação, pelo incentivo ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A Engenheira Solange Maria da Rocha Patrício, pela colaboração na realização dos ensaios no Laboratório de Solos I da UFCG.

A todos os funcionários do Laboratório de Solos I, Edvaldo, Sr. Brito, Kléber, que de alguma maneira colaboraram para realização deste trabalho, e em especial ao Prof. Dr. José Afonso Gonçalves de Macedo, pelo apoio constante.

À CAPES, pelo auxílio financeiro concedido para o andamento deste trabalho.

Aos meus amigos, Francisco Júnior, Marcelle Costa, Aracy Siqueira, Karina Correia, Gabriela Coelho, e Anne Raquel pela amizade e companheirismo. Aos meus amigos de curso, Marcos Severino, Carlos André e Pedro Nogueira, pela colaboração prestada.

Aos meus irmãos, Aristóteles, Alessandra, Geraldo Filho, minha cunhada Elizângela, e à Luiza Teixeira de Lima Brito pelo apoio condicional. A Jéferson Júnior, pelo incentivo nas horas mais difíceis.

Aos que aqui não foram citados, mas que de alguma maneira colaboraram, ficam aqui meus sinceros agradecimentos.



“Ninguém é tão grande que não possa aprender,  
nem tão pequeno que não possa ensinar.”

## SUMÁRIO

---

CAPÍTULO 01	01
1.0 INTRODUÇÃO	01
1.1 Objetivos	02
1.1.1 Objetivo geral	02
1.1.2 Objetivo específico	03
1.2 Abordagem dos assuntos	03
CAPÍTULO 02	05
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
2.1 Argamassa	05
2.1.1 Histórico	05
2.1.2 Conceituação	06
2.1.3 Propriedade das argamassas	07
2.1.3.1 Propriedades das argamassas no estado fresco	07
2.1.3.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido	09
2.1.4 Componentes das argamassas	09
2.1.4.1 Cimento Portland	09
2.1.4.2 Cal hidratada	11
2.1.4.3 Areia	12
2.1.5 Função das argamassas	13
2.1.6 Tipos das argamassas	14

2.1.7 Classificação das argamassas-----	15
2.1.8 Fator água/aglomerante-----	16
2.1.9 Traços-----	17
2.1.10 Mistura das argamassas-----	17
2.2 Caulim-----	18
2.2.1 Utilização do caulim-----	20
2.2.2 Processo de decantação-----	21
2.2.3 Processo de filtração-----	22
2.2.4 Processo de secagem e moagem-----	23
2.3 Beneficiamento do caulim-----	24
2.3.1 Impacto ambiental-----	24
2.3.2 Impactos ambientais causados pelo beneficiamento do caulim-----	25
2.3.3 Reciclagem de resíduos-----	26
2.3.4 Impactos da reciclagem-----	27
2.3.5 Resíduos utilizados na construção civil-----	28
2.3.6 Reciclagem de resíduos para uso na construção civil-----	29
 CAPÍTULO 03-----	 30
 3.0 MATERIAIS E MÉTODOS-----	 30
3.1 Materiais-----	30
3.1.1 Cimento Portland-----	30
3.1.2 Cal-----	32
3.1.3 Resíduo de caulim-----	32
3.1.4 Areia-----	33
3.1.5 Água-----	33
3.2 Ensaio de caracterização-----	33
3.2.1 Caracterização física-----	33
3.2.1.1 Massa específica real-----	33
3.2.1.2 Análise granulométrica-----	34
3.2.1.3 Área específica-----	34

3.2.1.4 Teor de materiais pulverulentos-----	34
3.2.2 Caracterização mineralógica-----	34
3.2.2.1 Análise química-----	35
3.2.2.2 Análises térmicas (ATD e ATG)-----	35
3.2.2.3 Difração de raios-X-----	35
3.3 Ensaio tecnológicos-----	36
3.3.1 Preparação das argamassas-----	36
3.3.1.1 Argamassas convencionais-----	36
3.3.1.2 Argamassas alternativas-----	37
3.3.2 Moldagem dos corpos de prova-----	39
3.3.3 Cura-----	40
3.4 Propriedades físicos-mecânicas-----	41
3.4.1 Resistência à compressão simples (RCS)-----	41
3.4.2 Resistência à tração indireta (RTI)-----	42
 CAPÍTULO 04-----	 45
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	45
4.1 Ensaio de caracterização-----	45
4.1.1 Caracterização física-----	45
4.1.1.1 Massa específica real-----	45
4.1.1.2 Teor de materiais pulverulentos-----	46
4.1.1.3 Análise granulométrica-----	46
4.1.1.3.1 Areia-----	46
4.1.1.3.2 Resíduo-----	50
4.1.2 Caracterização mineralógica-----	51
4.1.2.1 Análise química-----	51
4.1.2.2 Análise termodiferencial e termogravimétrica-----	52
4.1.2.3 Difração de raios -X-----	53
4.2 Ensaio tecnológicos-----	54
4.2.1 Argamassas convencionais-----	54

4.2.1.1 Resistência à compressão simples (RCS)-----	54
4.2.1.2 Resistência à tração indireta (RTI)-----	57
4.2.2 Argamassas alternativas-----	61
4.2.2.1 Resistência à compressão simples (RCS)-----	61
4.2.2.2 Resistência à tração indireta (RTI)-----	68
CAPÍTULO 05-----	76
5.0 CONCLUSÕES E SUGESTÕES-----	76
5.1 Conclusões-----	76
5.1.1 Ensaios de caracterização-----	76
5.1.2 Ensaios tecnológicos-----	76
5.1.2.1 Chapisco-----	76
5.1.2.2 Assentamento de tijolos-----	77
5.1.2.3 Emboço-----	77
5.1.2.4 Reboco-----	78
5.2 Conclusão final-----	79
5.3 Sugestões para futuras pesquisas-----	80
CAPÍTULO 06-----	81
6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	81
ANEXOS-----	87



## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 2.1 - Tanque de decantação-----	22
Figura 2.2 - Prensa do caulim em forma de blocos-----	22
Figura 2.3 - Forno para secagem do caulim-----	23
Figura 2.4 - Resíduo de caulim jogado no meio ambiente-----	25
Figura 3.1 - Misturador mecânico para argamassa-----	37
Figura 3.2 - Molde cilíndrico rosquiado para moldagem dos corpos de prova---	39
Figura 3.3 - Corpos de prova em cura aérea-----	41
Figura 3.4 - Corpo de prova submetido a um esforço de Compressão Axial-----	42
Figura 3.5 - Corpo de prova submetido a um esforço de Tração Indireta-----	43
Figura 4.1 - Curva granulométrica da areia fina e seu enquadramento na zona de classificação estabelecida pela NBR 7211/83-----	47
Figura 4.2 - Curva granulométrica da areia média e seu enquadramento na zona de classificação estabelecida pela NBR 7211/83-----	48
Figura 4.3 - Curva granulométrica da areia grossa e seu enquadramento na zona de classificação estabelecida pela NBR 7211/83-----	49
Figura 4.4 - Curva granulométrica do resíduo-----	51
Figura 4.5 - Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo-----	53
Figura 4.6 - Difratoograma do resíduo de caulim-----	54
Figura 4.7 - Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa chapisco (traço 1:2:3) em função do tempo de cura-----	61
Figura 4.8 - Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (traço 1:4:28) em função do tempo de cura	62

Figura 4.9 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa emboço (traço 1:2:11) em função do tempo de cura-----	63
Figura 4.10 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa reboco (traço 1:2:9) em função do tempo de cura-----	64
Figura 4.11 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura-----	65
Figura 4.12 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura-----	66
Figura 4.13 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura-----	67
Figura 4.14 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa chapisco (traço 1:2:3) em função do tempo de cura-----	68
Figura 4.15 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (traço 1:4:28) em função do tempo de cura-----	69
Figura 4.16 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa emboço (traço 1:2:11) em função do tempo de cura-----	70
Figura 4.17 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa reboco (traço 1:2:9) em função do tempo de cura-----	71
Figura 4.18 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura-----	72
Figura 4.19 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura-----	73
Figura 4.20 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura-----	74

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 3.1 - Característica física do cimento Portland CII-F-32-----	31
Tabela 3.2 - Característica química do cimento Portland CII-F-32-----	31
Tabela 3.3 - Propriedades da cal hidratada-----	32
Tabela 3.4 - Traços para argamassas convencionais recomendados pela ABNT, PINI e CIGRA-----	36
Tabela 3.5 - Traços para argamassas alternativas, recomendados pela ABNT, PINI e CIGRA, feitas a partir de traços para argamassas convencionais-----	38
Tabela 3.6 - Traços para argamassas alternativas (cal + resíduo) recomendados pela ABNT, PINI e CIGRA-----	38
Tabela 4.1 - Massa específica real das amostras estudadas-----	46
Tabela 4.2 - Teor de materiais pulverulentos das areias-----	46
Tabela 4.3 - Composição granulométrica da areia fina-----	47
Tabela 4.4 - Composição granulométrica da areia média-----	48
Tabela 4.5 - Composição granulométrica da areia grossa-----	49
Tabela 4.6 - Classificação das areias-----	50
Tabela 4.7 - Composição química das amostras estudadas-----	51
Tabela 4.8 - Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa convencional chapisco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	54
Tabela 4.9 - Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa convencional assentamento de tijolos para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	55

Tabela 4.10 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa convencional emboço para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	56
Tabela 4.11 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa convencional reboco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura--	57
Tabela 4.12 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa convencional chapisco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	58
Tabela 4.13 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa convencional assentamento de tijolos para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	58
Tabela 4.14 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa convencional emboço para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	59
Tabela 4.15 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa convencional reboco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	60
Tabela 01 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa chapisco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura---	87
Tabela 02 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	87
Tabela 03 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa emboço para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura----	88
Tabela 04 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa reboco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	88
Tabela 05 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	89
Tabela 06 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	89

Tabela 07 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	89
Tabela 08 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa chapisco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	90
Tabela 09 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	90
Tabela 10 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa emboço para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	91
Tabela 11 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa reboco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	91
Tabela 12 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	92
Tabela 13 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	92
Tabela 14 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura-----	92



## LISTA DE ABREVIações, SIGLAS E SÍMBOLOS

---

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al – Alumínio

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de alumínio

ATD – Análise termodiferencial

ATG – Análise termogravimétrica

CaO - Óxido de cálcio

CCT – Centro de Ciências e Tecnologia

Cd – Cádmo

CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia

CIMEPAR – Companhia Paraibana de Cimento Portland

CO<sub>2</sub> – Gás carbônico

DRX – Difração de raios-X

EIAs – Estudo de Impactos Ambientais

Fe – Ferro

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Óxido de ferro

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

K<sub>2</sub>O - Óxido de potássio

MgO – Óxido de magnésio

MPa – Mega Pascal

Na<sub>2</sub>O – Óxido de sódio

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

NPC – Núcleo de Pesquisa em Construção

PR – Perda ao rubro

PRADs – Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

PUC – Pontifícia Universidade Católica

RCD – Resíduo de construção e demolição

RCRA - Resource Conservation and Recovering Act

RCS – Resistência à compressão simples

RI – Resíduo insolúvel

RIMAs – Relatório de Impactos Ambientais

RTI – Resistência à tração indireta

SIF – Sociedade de Investigações Florestais

SiO<sub>2</sub> – Óxido de silício

SO<sub>3</sub> – Anidrido sulfúrico

UFMG – Universidade Federal de Campina Grande

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSC – Universidade Federal de Santa Maria

UFV – Universidade Federal de Viçosa

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

USP – Universidade de São Paulo

Zn – Zinco

Rocha, Aretuza K. Araújo – Incorporação de Resíduo de Caulim em Argamassa de Alvenaria, Campina Grande, UFCG, 2005.

## RESUMO

---

Em virtude da grande quantidade de resíduos gerados pelas indústrias de beneficiamento de caulim, ambientalistas e governantes alertam a população para o impacto causado por estes resíduos. Por esta razão, este trabalho fará uma abordagem no que diz respeito à incorporação desses resíduos, em traços de argamassa para uso na construção civil, visando minimizar o impacto ambiental, como também produzir argamassas alternativas para assentamento e revestimento de alvenaria com custos mais reduzidos. Nesta pesquisa foram realizados ensaios de caracterização física e mineralógica, tais como: análise granulométrica das areias, massa específica unitária, análise química e difração de raios-x. Para os ensaios tecnológicos foram estudados traços para argamassas de assentamento e revestimento, com incorporação de 5%, 10%, 15% e 20% de resíduo de caulim, em substituição à parte da cal, como também, traços para argamassas de assentamento e revestimento com cal e areia e cal e resíduo de caulim. Os resultados obtidos mostraram que os traços incorporados com até 15% de resíduo de caulim se encontram dentro das normas da ABNT, assim, permiti-se concluir que existe viabilidade técnica da utilização do resíduo para o uso na construção civil em argamassas de assentamento e revestimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem, Resíduo de Caulim, Argamassa de Alvenaria.

Rocha, Aretuza K. Araújo – Incorporation of Kaolin Residue in Masonry Mortar,  
Campina Grande, UFCG, 2005.

## **ABSTRACT**

---

In virtue the great amount of residues generated by the industries of kaolin improvement, governing and enviromentalists alert the population for the impact caused by these residues. For this reason, this work thesis will be dealing with it the incorporation of these residues in mortar traces for use in the civil construction, aiming to minimize the ambient impact, as also to produce mortar for the use in masonry. In order to achieve the objectives of this thesis physical and mineralogy characterization was carried out, such as: grain sized distribution of sands, unitary specific mass, chemical analysis and diffraction X-rays. For the technological tests mixes for mortar of nesting and covering had been studied, with incorporation of 5%, 10%, 15% and 20% of kaolin residue, in substitution to the part of the whitewash sand also, mixes for mortar of nesting and covering with whitewash and sand and whitewash and kaolin residue. The results obtained showed that the mixes incorporated with up to 15% of kaolin residue were in agreement with specification (Brazilian specifications) ABNT, and allowed to be concluded that mixes it is feasible to use of the kaolin residue for the use in the civil construction with mortar of nesting and covering.

**KEY WORDS:** Recycling, Residue Kaolin, Masonry Mortar.

## CAPÍTULO 01

---

### 1.0 INTRODUÇÃO

Preocupados com a grande quantidade de rejeitos gerados pelas indústrias beneficiadoras de caulim, governantes e ambientalistas alertam a população para o impacto causado por estes rejeitos. Os resíduos são jogados diretamente no meio ambiente sem haver nenhum processo de tratamento em vista, para eliminar e diminuir esta agressividade que é causada ao meio ambiente e até mesmo a população.

Nas indústrias de beneficiamento de caulim são gerados dois tipos de resíduos: primeiro, gerado através do processo á úmido, no qual contém sílica e outras contaminações, resulta em quantidades próximas a 70% do seu volume. O volume total desses resíduos é bastante significativo, uma vez que o processo de beneficiamento tem um rendimento de 30% do total extraído da jazida, ou seja, de cada tonelada do material bruto, menos de um terço é aproveitado. Já o segundo resíduo vem do beneficiamento do caulim, separado na etapa anterior, submetido a peneiramento na malha ABNT Nº 200 (0,074 mm) no qual o material retido neste peneiramento, denominado de borra, é justamente o resíduo utilizado nesta pesquisa.

O aproveitamento desses resíduos tem sido muito estudado nos últimos anos, visando reduzir os custos do processo de fabricação, como também minimizar o impacto ambiental causado pelo mesmo. O emprego de resíduos na construção civil pode vir a se tornar uma atividade de extrema importância e mais freqüente, principalmente, pela quantidade disponível com potencialidades de reciclagem, minimizando os impactos ambientais.



Diante deste contexto, a Universidade Federal de Campina Grande – PB vem desenvolvendo vários estudos direcionados ao aproveitamento destes rejeitos, como forma de diminuir a agressão ambiental, e como reduzir os custos em alguns processos na fabricação de materiais, tanto na confecção de argamassas quanto na confecção de blocos de concreto, como também matérias primas para uso em composição de massa cerâmica para produção de blocos, telhas, pisos, revestimentos, louças sanitárias, etc., e também como forma de diminuir as agressões ambientais, reduzindo assim os custos em alguns processos na fabricação de materiais cerâmicos (NEVES, 2002).

A utilização de resíduos industriais como matéria-prima e sua transformação em produtos que possam ser comercializados ou que se mostrem economicamente viáveis, se apresenta como uma opção interessante tanto para as empresas que deles se descartam, como para o meio ambiente.

Diante dessas considerações, busco neste trabalho de pesquisa, uma opção para a utilização do resíduo industrial de caulim na utilização em argamassas, em função de suas características físicas, químicas e toxicológicas.

A construção civil é um dos ramos da engenharia que, pelo volume de recursos naturais consumidos, parece ser o mais indicado a absorver os resíduos sólidos. Sob este ponto de vista, pode-se ainda associar a ela a necessidade de atender às exigências de manejo e do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos (OLIVEIRA, 2004).

Visando minimizar o impacto ambiental, este trabalho de pesquisa busca a geração de conhecimentos científicos com a finalidade de aproveitamento do resíduo como uma matéria-prima alternativa para a produção de argamassa de baixo custo.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é estudar a potencialidade do resíduo de caulim para uso em argamassas alternativas, em substituição parcial a cal na construção civil.

### **1.1.2 Objetivo específico**

O presente estudo tem como objetivos específicos:

- Caracterizar as matérias primas alternativas e convencionais nos seus aspectos físicos e mineralógicos;
- Caracterizar tecnologicamente a incorporação dos resíduos como matéria-prima no desenvolvimento de argamassas alternativas em substituição parcial as argamassas convencionais;
- Determinar o fator água/cimento, ideal para cada traço utilizado;
- Determinar as propriedades mecânicas através dos ensaios de resistência à compressão simples e tração indireta;
- Comparar os resultados das argamassas convencionais com as argamassas alternativas de acordo com a norma da ABNT.

### **1.2 Abordagem dos assuntos**

Este trabalho está subdividido em seis capítulos, e os assuntos foram distribuídos da seguinte maneira:

No primeiro Capítulo está a introdução, com uma visão geral do trabalho quanto à importância dos ensaios, "como também a importância da pesquisa e os objetivos a serem atingidos".

No segundo tem-se a revisão bibliográfica, com uma resumida definição e classificação de argamassas, reciclagem de resíduo e caulim.

No terceiro são apresentados os resultados relativos ao experimento dos materiais em relação à caracterização física e mineralógica das matérias primas convencionais e alternativas, como também ensaios tecnológicos, tais como:

preparação, moldagem e ruptura dos corpos de prova, quanto à resistência a compressão simples e resistência à tração indireta.

O quarto capítulo refere-se à apresentação e discussão dos resultados, onde consta o resultado dos ensaios de Caracterização Física (Massa Específica Real, Análise Granulométrica, Área Específica), Caracterização Mineralógica (Análise Química, Análise Termodiferencial, Análise Termogravimétrica, Difração de Raios – X) e os Ensaio Tecnológicos (Fator água/aglomerante, Resistência à Compressão Simples e Resistência à Tração Indireta).

No quinto capítulo são apresentadas as conclusões e sugestões para pesquisas futuras, enquanto que no sexto estão listadas as referências bibliográficas usadas para o desenvolvimento desta dissertação.

## CAPÍTULO 02

---

### 2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 ARGAMASSA

##### 2.1.1 Histórico

Acredita-se que a argamassa surgiu na Pérsia antiga, onde era usada alvenaria de tijolos secos ao sol, com assentamento de argamassas de cal. Como sistema construtivo a argamassa se desenvolveu em Roma durante o Império Romano. Nesta época os homens tiveram a idéia de misturar um material aglomerante (cinzas vulcânicas), com materiais inertes, dando assim origem às primeiras argamassas. Portanto, há mais de 2000 anos, este material vem sendo utilizado tanto para pavimentar as edificações como unir e revestir os blocos que formam as paredes e os muros das mesmas.

Com a descoberta desses aglomerantes, o homem passou a desenvolver uma melhor forma de utilizar estes materiais no que diz respeito a sua aplicação, confeccionando argamassas mistas com a finalidade de produzir argamassas de revestimento e alvenarias adequadas a sua utilização.

As primeiras misturas que tiveram sucesso, na junção de blocos de alvenaria, foram batizadas com o nome de "argamassas", palavra que etimologicamente designa misturas de cal, água, e areia para construções (GUIMARÃES E CINCOTTO, 1985).

No Brasil, a argamassa passou a ser utilizada no primeiro século de nossa colonização, para assentamento de alvenaria de pedra (largamente utilizada na época). A cal que constituía tal argamassa era obtida através da queima de conchas e mariscos. O óleo de baleia era também muito utilizado como aglomerante, no preparo de argamassas para assentamento.

É lamentável que, ainda hoje, não se dê a importância devida às argamassas nas construções, visto que, elas são as responsáveis pela ligação dos elementos, bem como pela aparência e também pela qualidade do acabamento, seja o mesmo interno ou externo, merecendo um melhor tratamento, sendo necessário um controle nos seus traços.

### **2.1.2 Conceituação**

A argamassa é uma mistura de aglomerantes, agregados e água, dotada de capacidade de endurecimento e aderência, cuja dosagem varia de acordo com a utilização. Empregada no assentamento de alvenarias e na execução de revestimentos, a argamassa deve ter, basicamente, as seguintes características: economia, poder de incorporação de areia, plasticidade, aderência, retenção de água, homogeneidade, compacidade, resistência à infiltração, à tração e à compressão e durabilidade. Cada tipo de emprego exige diferentes características e propriedades correlatas aos materiais empregados.

Aglomerantes são materiais que promovem a união dos grãos do material inerte (agregados). Funciona nas argamassas como elementos ativos, sofrendo transformação química.

Agregados são materiais pétreos fragmentados que atuam nas argamassas que não sofrem transformação química. Como por exemplo, a areia, onde o material inerte é incorporado para diminuir a contração tomando-o mais econômico.

As argamassas são constituídas por material ativo, a pasta, e material inerte, o agregado miúdo. A pasta é uma mistura isolada do(s) aglomerante(s) com a água

e é responsável pela ligação dos grãos de areia entre si, a fim de formar um todo homogêneo. A presença do material inerte à pasta, além de oferecer um barateamento do produto, elimina em parte a retração por secagem.

É bastante comum o uso de mais de um aglomerante na composição de uma argamassa, sendo assim denominadas de argamassas mistas. Segundo Cincotto (1985), as argamassas mistas de revestimento, com a presença de cal, oferece grandes vantagens devido à elevada finura do aglomerante, que se prende às questões de boa trabalhabilidade e aderência adequada do revestimento; e ao grau de reatividade, que se relaciona com o crescimento e valor final da resistência à tração da argamassa no seu estado endurecido.

O uso de mais de um agregado miúdo na composição da argamassa, também é comum e proporciona uma granulometria contínua e teor adequado, levando a um índice menor de vazios. Assim, vemos que as características de uma argamassa dependerão dos seus componentes, do seu traço e da quantidade de água utilizada.

### **2.1.3 Propriedades das argamassas**

As argamassas apresentam suas propriedades de acordo com seu estado fresco ou endurecido.

#### **2.1.3.1 Propriedades das argamassas no estado fresco**

- **Consistência** – É a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas, é influenciada pela quantidade de água e pelo tipo de aglomerante (RILEM, 1982).

- **Trabalhabilidade** – A trabalhabilidade das argamassas é uma propriedade complexa, resultando da conjunção de outras propriedades, como: consistência, plasticidade, exudação de água, coesão interna, tixotropia, adesão, massa específica, e retenção de água (RILEM, 1982).

Diz-se que uma argamassa tem boa trabalhabilidade quando ela se deixa penetrar com facilidade pela colher de pedreiro, sem ser fluida (exceto na argamassa de chapisco). Segundo Bauer (1993) a experiência do funcionário é fundamental, uma vez que deve conhecer o momento ideal, no qual a argamassa ainda conserve uma pequena plasticidade superficial, para as operações de sarrafeamento, de maneira que, eventuais fissuras que possam ter ocorrido sejam fechadas, e as tensões potenciais de tração devida à retração antes da pega sejam anuladas.

- **Plasticidade** – É a propriedade que a argamassa tem de permitir deformar-se sem ruptura, quando submetida a forças superiores as que promovem a sua estabilidade, mantendo a deformação após cessado o esforço deformante. Influenciada pelo teor de ar, natureza e teor de aglomerantes e pela intensidade de mistura das argamassas (RILEM, 1982).

- **Retenção de água** – Capacidade de uma argamassa quando sujeita a solicitações que provocam perda de água manter sua consistência.

Segundo Selmo (1989), a retenção de água das argamassas interfere não só no trabalho de acabamento do revestimento, mas também em suas propriedades no estado endurecido.

- **Massa específica** – Esta propriedade afeta a trabalhabilidade, pois, à medida que a massa específica diminui, a argamassa se torna mais leve e com melhor trabalhabilidade.

- **Adesão** – Propriedade que define a aderência da argamassa fresca na base a ser revestida. A forma como ocorre esta adesão depende tanto das características de trabalhabilidade, quanto das características de porosidade ou rugosidade, ou de tratamento prévio que aumente a superfície de contato entre os materiais.



### 2.1.3.2 Propriedades das argamassas no estado endurecido

- **Resistência mecânica** – Capacidade das argamassas resistirem às tensões de tração, compressão ou cisalhamento às quais o revestimento pode estar sujeito, diretamente ligada à natureza e dosagem dos materiais, bem como a relação água/aglomerante.

- **Elasticidade ou capacidade de deformação** – Capacidade que a argamassa apresenta em deformar-se sem que ocorra ruptura, retomando as suas dimensões iniciais quando cessam as solicitações a que foram impostas. Esta propriedade determina a ocorrência de fissuras no revestimento, influenciando no grau de aderência da argamassa.

- **Retração** – Quando aplicada, a argamassa perde água de amassamento para a base, por efeito de sucção. Essa perda de água ocasiona movimentação reversível ou irreversível, estando a primeira relacionada à capacidade de absorção de água do sistema base-revestimento, a segunda, movimentação irreversível relacionada ao processo de secagem, gerando tensões de tração.

- **Aderência** – Propriedade que permite a argamassa absorver tensões normais ou tangenciais na superfície de interface com a base.

- **Permeabilidade** – Propriedade que identifica a possibilidade de passagem da água através de um dado material, componente ou elemento da construção.

### 2.1.4 Componentes das argamassas

#### 2.1.4.1 Cimento Portland

Os romanos antigos desenvolveram um material ligante chamado de “caementum”, que era uma mistura de cal, criada pelos egípcios, com pozolana, uma cinza vulcânica do Monte Vesúvio. Esta técnica foi esquecida na Idade

Média, só voltando a ser reexperimentada no século XVIII. O cimento feito de cinzas é conhecido até hoje como cimento pozolânico.

O cimento, muito semelhante ao que conhecemos hoje, foi cientificamente desenvolvido pelo químico britânico Joseph Aspdin de Leeds, que batizou o material com o nome de cimento Portland, devido a semelhança de sua cor e de outras características com a de um tipo de pedra encontrada na Ilha de Portland, na Inglaterra, utilizada para construção. A patente do cimento Portland foi requerida por Aspdin em 1824. O cimento atual é uma combinação química de cálcio, sílica, ferro e alumínio, que passa por complexos processos industriais. A denominação de cimento Portland é genericamente utilizada até hoje, e não representa nenhuma marca comercial (BOGUE, 1947).

A ABNT NBR - 11578 (1991) define o cimento Portland da seguinte forma:

Cimento Portland CII - O cimento Portland composto é modificado. Seu uso, portanto, é mais indicado em lançamentos maciços de concreto, onde o grande volume da concretagem e a superfície relativamente pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Este cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo. Recomendado para obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento.

Cimento Portland CII-F - Com adição de material carbonático (Filler). Para aplicações gerais. Pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados, artefatos de concreto, pisos, pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros.

Cimento Portland CII-F-32 – Classe 32, com resistência a compressão média de 32 MPa aos 28 dias. É um tipo de cimento que reage mais rápido e, portanto, possibilita a forma em tempo menor que os outros cimentos compostos.

Nas argamassas, o cimento Portland é o elemento ativo de maior custo unitário, sendo sua proporção requisito essencial para que se possa obter, economicamente, uma argamassa com as características e durabilidade desejada para um determinado fim.

Segundo Müller (1993), as argamassas mais ricas em cimento Portland tendem a apresentar maiores resistências mecânicas e impermeabilidade, porém, aumenta a probabilidade de formação de fissuras devido à hidratação do cimento provocar enrijecimento e mudanças na consistência inicial pela perda de parte da água de amassamento.

#### **2.1.4.2 Cal hidratada**

Segundo a ABNT NBR – 7175 (1992), a cal hidratada é definida como sendo um pó seco obtido pela hidratação de cal virgem, constituída essencialmente de hidróxido de cálcio ou de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de magnésio e óxido de magnésio, sendo designada conforme os teores de óxido não hidratados e de carbonatos.

O uso da cal vem desde os povos antigos da Babilônia. No início do século, após surgimento do cimento Portland, o uso da cal foi quase que totalmente endeusada, pelas suas propriedades de pega rápida e alta resistência.

Segundo Cincotto (1980), a utilização de cal em construção civil é bastante expressiva, cerca de 1,1 sacos de cal por metro quadrado de área construída, atendendo as múltiplas finalidades, tais como: aglomerante aéreo em argamassa, plastificante e retentor de água em concreto, estabilizante de solos, etc.

A cal é um aglomerante aéreo, ou seja, endurece em presença do  $\text{CO}_2$  do ar. Portanto, mesmo devidamente embalada, deve-se considerar a possibilidade da ocorrência de carbonatação no produto embalado.

O uso de uma boa cal hidratada nas argamassas de assentamento e revestimento garante uma série de vantagens na sua construção, como: aderência, resistência à penetração de água (impermeabilidade), plasticidade, elasticidade, durabilidade e beleza nas edificações.

Todas essas propriedades proporcionam um menor custo por metro cúbico de argamassa.

#### **2.1.4.3 Areia**

Geologicamente é um sedimento de grãos em geral quartzosos de diâmetros entre 0,06 e 2,0 mm.

Considerado como material de construção, areia é o agregado miúdo, e precisamente tem grãos formados de material consistente, não necessariamente quartzosos, e provêm, como material de construção, de rios, cavas, britagem, escórias, de praias e dunas.

Segundo a ABNT NBR – 7200 (1982), em argamassas devem ser utilizadas areias de grãos mistos de composição identificável em ensaios de laboratório.

A areia pode ser natural ou artificial. A areia natural provém da desagregação de rochas em consequência da ação de agentes atmosféricos, sendo classificadas em areias de rios, de minas e de mar. As areias artificiais são obtidas pela trituração das rochas, são areias mais puras, porém seu custo é mais elevado.

Segundo a ABNT NBR – 7200 (1982), em areias de argamassas, o teor de materiais finos de natureza argilosa não deve ultrapassar a 5% em massa. Estes materiais são particularmente nocivos quando envolvem grãos de agregado, aderindo fixamente a eles ou quando se apresenta em forma de aglomerante.

Na caracterização de uma areia, pela sua curva granulométrica (classificada em faixas granulométricas), apresenta as seguintes características: areia fina, areia média e areia grossa.

Dentro dessas características granulométricas, a areia apresenta as seguintes formas:

- **Módulo de finura (MF)** - É a soma das porcentagens retida e acumulada em massa de um agregado, nas peneiras a série normal, dividida por 100;
- **Dimensão máxima** - É a abertura da peneira em milímetros em que fica acumulada uma percentagem igual ou imediatamente inferior a 5 %;
- **Massa específica** - É a determinação do volume de vazios a ser preenchida pela argamassa para estabelecimento de parâmetro de comparação. A determinação da massa específica é de extrema importância, pois conhecendo seu resultado é possível calcular o consumo de materiais utilizados para a produção da mistura;
- **Torrões de argila e materiais pulverulentos** - Os torrões de argila e os materiais pulverulentos são considerados substâncias nocivas, sendo capazes de prejudicar o desempenho da argamassa. A determinação do teor de materiais pulverulentos presente caracteriza a quantidade de partículas com diâmetro inferior a abertura da peneira ABNT nº 200 (0,075 mm). Os materiais pulverulentos são partículas minerais, inclusive as partículas solúveis em água, presentes no agregado miúdo. O excesso de materiais pulverulentos exige a adição de uma quantidade de água para a hidratação do cimento, o que aumenta a quantidade de vazios na argamassa e a queda da resistência e da durabilidade da argamassa. A determinação do teor de torrões de argila no agregado miúdo indica o percentual de argila presente no agregado.

### **2.1.5 Funções das argamassas**

As funções das argamassas são as seguintes:

- unir com solidez elementos de alvenaria e ajudar a resistir aos esforços laterais;
- distribuir com uniformidade as cargas que atuam na parede por toda a área resistente aos elementos de alvenaria;
- absorver as deformações que a alvenaria sofre naturalmente;
- selar as juntas contra a penetração de água da chuva;
- dar acabamento como reboco nos tetos, pisos, nos reparos de obras de concreto, etc.

### 2.1.6 Tipos das argamassas

As argamassas são classificadas, segundo a sua finalidade, em: argamassas para assentamento e para revestimento.

- **Argamassas para assentamento** - As argamassas para assentamento são usadas para unir blocos ou tijolos das alvenarias. Servem também para a colocação de azulejos, tacos, ladrilhos e cerâmica;

- **Argamassas para revestimento** - As três primeiras fiadas de uma parede de blocos ou tijolos devem ser revestidas inicialmente com uma camada de argamassa de impermeabilização, que protege a parede contra a penetração da umidade. Todas as paredes e tetos devem receber uma camada de chapisco, qualquer que seja o acabamento. Sem o chapisco, que é a base do revestimento, as outras camadas podem descolar e até cair. Em alguns casos, como em muros, esse pode ser o único revestimento.

Sobre o chapisco é aplicado uma camada de massa grossa ou emboço, para regularizar a superfície. Por último, a massa fina ou o reboco, que dá o acabamento final. Em alguns casos não é usado o reboco, por motivo de economia. Os revestimentos são aplicados sobre o emboço. O acabamento de paredes mais econômico é o cimentado liso, aplicado diretamente sobre o

chapisco. O chapisco, o reboco e o emboço não são usados em pisos. O cimentado é o piso de argamassa mais econômico. Se a superfície for muito irregular, convém aplicar inicialmente uma argamassa de regularização ou nivelamento.

### 2.1.7 Classificação das argamassas

Segundo Azeredo (1987), as argamassas de acordo com a sua função são classificadas da seguinte forma:

- **Chapisco** - Argamassa rica em cimento que vai formar em superfícies lisas um contato áspero para que o emboço tenha uma melhor condição de aderência. Pelo fato de ser uma argamassa bastante fluida, a superfície que irá recebê-la não deve ser molhada antecipadamente.

A sua aplicação é atirar contra a parede com uma certa violência a uma determinada distancia de lançamento, para que haja um certo impacto, a fim de dar maior aderência e aspereza. A espessura do chapisco é de 3 mm a 5 mm.

- **Assentamento de tijolos** - Tem por finalidade unir os elementos de construção (tijolos, azulejos, pedras, mármore, etc.). É de fácil manuseio e moderada plasticidade, e quando em contato com as unidades de alvenaria perde água para o substrato por absorção.

- **Emboço** - O emboço, ou massa grossa é uma camada cuja principal função é a regularização da superfície de alvenaria, devendo apresentar espessura média entre 15 mm e 25 mm. É aplicada diretamente sobre a base previamente preparada (com ou sem chapisco) e se destina a receber as camadas posteriores do revestimento. Deve apresentar porosidade e textura superficiais compatíveis com a capacidade de aderência do acabamento final previsto.

- **Reboco** - Camada de argamassa que serve de acabamento. Aplicado sobre o emboço e sua espessura, apenas o suficiente para constituir uma película



contínua e íntegra sobre o emboço, não devendo ultrapassar 5 mm. Quando exposto a intempéries, o reboco pode necessitar de cuidados especiais, como o uso de impermeabilizantes.

### **2.1.8 Fator água/aglomerante**

A água utilizada nos traços de argamassa não deve conter impurezas, segundo a ABNT NBR – 7200 (1982), as águas utilizadas são águas de amassamento, desde que não sejam contaminadas por impurezas que atuem quer a curto, quer a longo prazo. Não podem ser usadas, por exemplo, águas servidas provenientes de processos industriais, assim como águas que contenham elevado teor de sais nocivos, que segundo Bauer (1993), também podem contribuir para a ocorrência das eflorescências. Se a água for turva, deve-se verificar sempre a possibilidade de sua utilização como água de amassamento. Devem ser evitados elementos nocivos como: óleos, que isolam componentes; ácidos, que reagem com os aglomerantes; e materiais orgânicos, que isolam os componentes e alteram o tempo de pega.

Rilem (1982), constatou que o operário é o meio mais eficiente de adicionar água na argamassa e definir sua trabalhabilidade, bem melhor do que um equipamento.

A água, componente líquido na argamassa, é o meio mais direto que o pedreiro dispõe para regular a consistência, fazendo a sua aplicação em teor adequado até a obtenção da trabalhabilidade desejada (RILEM, 1982).

Não existe critério para determinação do fator de água/aglomerante ideal na confecção de argamassas, que venha garantir uma adequada aplicabilidade, obtendo resultados satisfatórios, a determinação do fator água/aglomerante é feita de acordo com a finalidade a que se propõe a argamassa.

### **2.1.9 Traços**

O traço das argamassas é a dosagem da quantidade de cada componente. O traço das argamassas varia bastante, de acordo com a finalidade de aplicação.

A quantidade de água de todos esses traços depende de vários fatores: a finalidade, a qualidade dos componentes, a habilidade dos pedreiros, etc. Existem também argamassas prontas, para assentamento e revestimento (inclusive para rejuntamento), à venda nas lojas de material de construção. Essas argamassas que vêm embaladas em sacos devem ser misturadas com água, na quantidade recomendada pelo fabricante, em geral impressa na embalagem.

Segundo a ABNT NBR – 7200 (1982), na escolha do traço devem ser consideradas as propriedades dos aglomerantes, a granulometria dos agregados, o processo de mistura (manual ou mecânico), os requisitos do revestimento, a qualidade da base do revestimento, o tipo de acabamento e as condições locais.

### **2.1.10 Mistura das argamassas**

A qualidade das argamassas depende tanto das características dos componentes, como do preparo correto e do manuseio adequado. A mistura no local da obra pode ser feita manualmente ou em betoneira.

Nos dois casos é recomendável misturar apenas a quantidade suficiente para 1 hora de aplicação. Esse cuidado evita que a argamassa endureça ou perca a plasticidade.

Como se devem misturar as argamassas:

- colocar primeiro a areia, formando uma camada de cerca de 15 cm de altura;

- sobre essa camada, coloque o cimento (e a cal ou outros materiais, se for o caso);
- mexa até formar uma mistura uniforme;
- faça um monte com um buraco no meio. Agora adicione e misture a água aos poucos, evitando que escorra para fora.

As ferramentas necessárias para misturar as argamassas são: pá, enxada, betoneira, carinho de mão, lata de 18 litros, desempenadeira, colher de pedreiro.

## 2.2 Caulim

O caulim é o nome comercial dado a uma argila branca ou quase branca, constituída essencialmente de caulinita. Há mais de três mil anos, os chineses já usavam o caulim para fazer porcelana. Grim (1958) define caulim como sendo uma rocha constituída de material argiloso, com baixo teor de ferro e cor branca. Os caulins podem ser definidos como sendo silicatos de alumínio hidratado, formado essencialmente pelo argilomineral caulinita, cuja célula unitária é expressa pela fórmula  $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8$ .

É um mineral amplamente utilizado por diversos setores industriais, cabendo destacar o de papel, que consome cerca de 47% da produção mundial. Sendo um dos mais importantes e provavelmente um dos seis minerais mais abundantes do topo da crosta terrestre.

Silva (2001), diz que o termo caulim ou "china clay" deriva da palavra chinesa Kauling (colina alta) e se refere a uma colina de Jauchau Fu, ao norte da China, onde o material é obtido, há muito tempo.

Geralmente, nas jazidas de caulim de valor econômico, segundo Kiyohara (1984) são os minerais chamados de feldspatos que, predominantemente dão origem a

caulinita e a haloisita em qualquer das formas, seja por intemperismo ou por ação hidrotérmica.

De acordo ainda com Kiyohara (1984), normalmente o caulim ocorre associado a diversas impurezas (haloisita, quartzo, feldspato, mica muscovita e outros), não atendendo assim, às especificações de mercado.

Dois tipos de caulins são comumente considerados para aplicações tecnológicas: os residuais e os sedimentares. O caulim como minério ou “mineral industrial” tem muito uso devido à sua cor e, após a queima, baixa granulometria natural, pouca abrasividade, estabilidade química, forma específica das partículas do argilomineral constituinte, além das propriedades reológicas específicas, adequadas em diferentes meios fluidos (LIMA, 2001).

Para o aproveitamento do caulim “bruto”, é necessário o seu beneficiamento, que pode ser pelo processo a seco ou pelo processo úmido. O beneficiamento a seco é usado para caulins que já possuem qualidades desejadas de alvura, com pouco quartzo e distribuição granulométrica adequada de partículas. Como a maioria dos caulins não atende a essas especificações, o seu beneficiamento é feito a úmido.

Os caulins são utilizados nas mais diversas aplicações, entre as principais podemos citar: cerâmica branca, reforço para borrachas plásticas, tintas na indústria de papel, como também adesivos, inseticidas e pesticidas, cimentos, fertilizantes, pigmentos, produtos absorventes e clarificantes, entre muitos outros (SHREVE, 1980, SOUZA SANTOS, 1989, LIMA, 2001).

Existem jazidas de caulim em vários países do mundo, mas são poucas as de boa qualidade e com volume adequado para suportarem uma escala de produção competitiva. As reservas estão concentradas principalmente nos Estados Unidos, China, Brasil, Reino Unido e Ucrânia.

### **2.2.1 Utilização do caulim**

O caulim é utilizado na produção de tintas, plásticos, cerâmicas, papel, borracha, cosméticos, produtos químicos, veterinários, produtos alimentícios, farmacêuticos, etc., porém sua primeira aplicação foi na fabricação de artigos cerâmicos.

Suas principais aplicações ocorrem na indústria de papel, que consome cerca de 47% da produção mundial, e na composição de pastas cerâmicas. O caulim tipo filler (como agente de enchimento ou carga), é adicionado à celulose com a finalidade de melhorar a formação e opacidade durante a produção de papel. Já o tipo coating (como agente de revestimento ou cobertura), é empregado na cobertura do papel destinado à impressão de alta qualidade, conferindo-lhe maior brilho, maciez e alvura (SILVA, 1993).

As jazidas de caulim hoje conhecidas no Brasil estão nos estados do Amazonas, Pará e Amapá e são do tipo sedimentar, caracterizando-se por grandes reservas e com propriedades para diversas aplicações industriais, principalmente em revestimentos de papel. Nas demais Unidades da Federação verifica-se uma predominância de caulim primário, originado tanto da alteração de pegmatitos como do intemperismo de granitos, destacando-se os Estados de São Paulo, Goiás, Santa Catarina e Paraná.

A produção do mineral caulim para a utilização industrial é dividida em duas etapas, extração e beneficiamento. Faz-se necessário o estudo dos processos que envolvem essas duas etapas para uma melhor compreensão nos aspectos básicos e técnicos operacionais referentes à indústria e a produção do resíduo.

### **2.2.2 Processo de decantação**

Na decantação, a finalidade é classificar as parcelas da mistura de acordo com a sua granulometria.

O material é disperso em água e inicia a primeira lavagem do material bruto seguindo de seu transporte por gravidade até o coberto de peneiramento. Nesse transporte ocorre a separação do material grosso da mistura facilitando o peneiramento. Nessa etapa já se verifica uma grande quantidade de rejeito produzido correspondendo ao resíduo grosso na obtenção do mineral caulim.

O coberto é formado por um conjunto de peneiras ABNT nº 200 (0,074 mm), e peneiras ABNT nº 325 (0,044 mm), que estão empilhadas em ordem crescente da abertura da malha, nesse sistema a mistura é classificada de acordo com as dimensões de suas partículas: todo o material que passa nas peneiras ABNT nº 200 corresponde ao caulim que será beneficiado, caso se faça necessário um melhor refinamento do minério, é passado nas peneiras ABNT Nº 325. O material retido nas peneiras ABNT nº 200 é rejeitado e consiste no resíduo fino da cadeia produtiva do caulim. Este material é conhecido, usualmente, como a "Borra do Caulim" (LIMA, 2005).

O material peneirado é bombeado, por gravidade, através de tubulações para um sistema de tanques onde se inicia a fase de decantação e sedimentação. Este sistema é formado por seis tanques: o primeiro tanque recebe a mistura e é preenchido completamente com água destilada, nele ocorre a separação da fração de maior granulometria através da sedimentação.

É gerada uma grande quantidade de resíduos, cerca de 75% rejeitos, e 25% aproveitamento.

A Figura 2.1 apresenta um dos tanques do processo de decantação.



**Figura 2.1 – Tanque de decantação**

### **2.2.3 Processo de filtração**

No processo de filtração é retirada, com o maior aproveitamento possível, a água misturada com o caulim proveniente do tanque de vazamento, reduzindo assim a umidade do mineral. Este processo é realizado através do método da prensagem, em que a mistura é recalçada para dentro de uma prensa, por meio de uma bomba de recalque. A mistura é prensada, assim, a água é eliminada da mistura, os vazios são compactados e o caulim fica armazenado em forma de blocos.

A Figura 2.2 apresenta a prensa do caulim em forma de blocos.



**Figura 2.2 – Prensa do caulim em forma de blocos**



#### 2.2.4 Processo de secagem e moagem

Para a perda total da umidade os blocos de caulim são encaminhados à fase de secagem, na primeira etapa eles são expostos ao sol e as correntes de ar onde ficam parcialmente secos. Posteriormente os blocos de caulim são dispostos no forno, para a completa secagem do material.

Na secagem do caulim pode ser feita pelo modo de Flash Dray, que é o mais economicamente viável, e tem um maior grau de pureza, e também pelo modo de Splay Dray, o qual não é muito viável.

Depois que passa pelo forno, ele é finalmente levado a secagem para enfim ser comercializado.

A Figura 2.3 apresenta o forno de secagem do caulim, onde ocorre a desagregação das partículas.



**Figura 2.3 – Forno para secagem do caulim**

## **2.3 Beneficiamento do caulim**

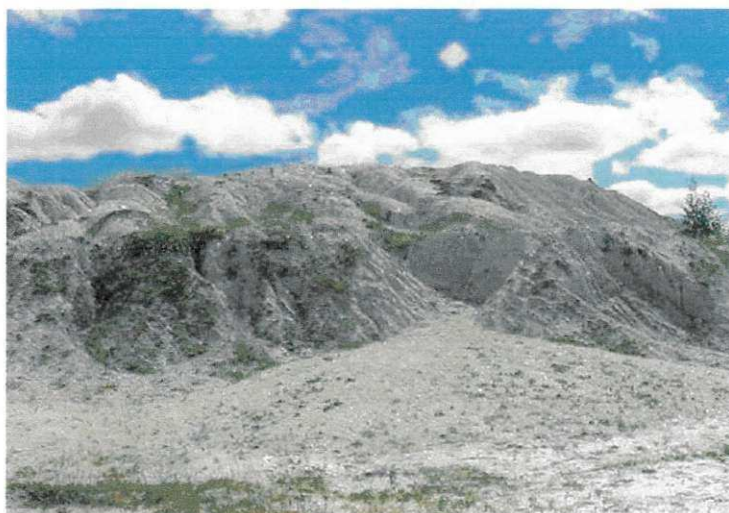
No processo de beneficiamento, o minério de caulim é submetido a uma lixiviação química, com o objetivo de remover, principalmente, as impurezas de ferro, que conferem colaboração ao produto final e, com isso, depreciam seu valor comercial. Nessa lixiviação é empregado o zinco metálico em meio ácido, com a finalidade de reduzir quimicamente o ferro. A água de lavagem daí resultante é bombeada para um tanque e posteriormente neutralizada com óxido de cálcio. O resíduo sólido obtido nesse tanque é rico em sulfato de cálcio, um corretivo de solo largamente empregado na agricultura. Este trabalho visa à caracterização química desse resíduo e posteriormente a avaliação do seu aproveitamento na agricultura. As fases mineralógicas presentes no resíduo estão sendo identificadas por difratometria de raios-X. A caracterização química está sendo realizada por técnica de análises complementares por termogravimetria e microscopia eletrônica de varredura.

No processo de beneficiamento do caulim primário inicia-se em três fases: decantação, filtração, e processo de secagem e moagem.

### **2.3.1 Impacto ambiental**

Durante o processamento do caulim, ocorre a produção de rejeitos líquidos (que são lançados nos rios) e sólidos (geralmente aterrados). Esses rejeitos podem conter, além de outros contaminantes, concentração de metais como o ferro (Fe), alumínio (Al), zinco (Zn) e cádmio (Cd), acima do permitido pela legislação. Os reflexos dessa contaminação extravasam, freqüentemente, os limites das áreas de trabalho, atingindo também a topografia, flora, fauna, sistema hídrico e morfofisiológico do solo, etc.

A Figura 2.4 mostra o impacto ambiental gerado pela indústria no processo de beneficiamento do caulim.



**Figura 2.4 – Resíduo de caulim jogado no meio ambiente**

### **2.3.2 Impactos ambientais causados pelo beneficiamento do caulim**

A atividade minerária de caulim, por sua própria natureza, altera as condições ambientais. A maioria dos estudos em relação ao beneficiamento de caulim aborda informações pertinentes à mineração e a prospecção. Os trabalhos de lavra iniciam-se com a pesquisa para a caracterização do corpo e qualidade do minério e se estendem até o beneficiamento e transporte dos resíduos. A extração de um volume expressivo de argila e de materiais rochosos, em todas as suas fases, envolve atividades que provocam impactos para o meio físico e biótico e acarretam problemas sócio-econômicos. Alguns desses impactos dependem de fatores como tipo de minério, técnicas de extração e beneficiamento, o que requer diferentes medidas para a recuperação ambiental.

Embora exista uma preocupação ambiental, por parte das empresas e dos órgãos ambientais, a indústria do caulim ainda causa transtornos, gerados durante o transporte de caulim (matéria-prima bruta) e produção de rejeitos (resíduos).

Esses resíduos, quando secos, transformam-se em pó e, pela ação dos ventos, esse pó espalha-se pelas ruas e avenidas, poluindo o ar e comprometendo o aspecto visual do local onde a empresa atua.

Visando a mitigar tais impactos, algumas empresas do ramo, juntamente com os órgãos competentes, têm elaborado os EIAs/RIMAs acompanhados de PRADs para aprovação de novas áreas a serem mineradas, legalização das minas em atividade e recuperação das áreas já inativadas. Como um desses exemplos, cita-se a Empresa de Mineração Caolinita, que há 48 anos possui sua sede no município de Ubá - MG. Essa empresa conta com o apoio da SIF/UFV para a elaboração e a execução de projetos que visam à legalização ambiental de seus trabalhos junto a FEAM - MG (Fundação Estadual do Meio Ambiente).

### **2.3.3 Reciclagem de resíduos**

A preocupação com resíduos de maneira geral é relativamente recente no Brasil. Diferente de países como os EUA onde no final da década de 1960 já existia uma política para resíduos, chamada de Resource Conservation and Recovering Act 1 (RCRA), no Brasil ainda está em discussão uma legislação mais abrangente sobre resíduos e o Programa Brasileiro de Reciclagem ainda não saiu do papel.

Reciclagem é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação. É necessário reciclar para que sejam preservados os recursos naturais não renováveis, e que sejam elaborados leis ambientais severas que dificultem a fabricação de produtos maléficos ao meio ambiente, como também é viável seguir a orientação dos ambientalistas para a redução, reciclagem e a reutilização dos resíduos como um todo, evitando assim o sistema de descartes.

A reciclagem pode ser classificada como primária, secundária ou reaproveitamento.

A reciclagem primária pode ser conceituada como sendo um "re-emprego ou uma reutilização de um produto para mesma finalidade que o gerou" (GRI, 1996).

A reciclagem secundária pode ser definida como sendo um "re-emprego ou reutilização de um produto para uma finalidade que não a mesma que o gerou" (GRN, 1996).

O reaproveitamento de resíduo pode ser entendido como sendo uma forma de utilizá-lo sem que haja necessidade de submetê-lo a qualquer processo de beneficiamento, tal como britagem ou moagem (LEVY, 1997).

#### **2.3.4 Impactos da reciclagem**

A reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, também pode causar impactos ao meio ambiente. Variáveis como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo que era antes de ser reciclado. Dessa forma, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente gerenciados (PINTO, 1995).

A quantidade de materiais e energia necessários ao processo de reciclagem pode representar um grande impacto para o meio ambiente. Todo processo de reciclagem necessita de energia para transformar o produto ou tratá-lo de forma a torná-lo apropriado a ingressar novamente na cadeia produtiva. Muitas vezes, apenas a energia não é suficiente para a transformação do resíduo. São necessárias também matérias-primas para modificá-lo física e/ou quimicamente.

Como qualquer outra atividade, a reciclagem também pode gerar resíduos, cuja quantidade e características também vão depender do tipo de reciclagem escolhida. Esses novos resíduos, nem sempre são tão ou mais simples que aqueles que foram reciclados. É possível que eles se tomem ainda mais agressivos ao homem e ao meio ambiente do que o resíduo que está sendo

reciclado. Dependendo de sua periculosidade e complexidade, estes rejeitos podem causar novos problemas, como a impossibilidade de serem reciclados, a falta de tecnologia para o seu tratamento, a falta de locais para dispô-lo e todo o custo que isto ocasionaria. É preciso também considerar os resíduos gerados pelos materiais reciclados no final de sua vida útil e na possibilidade de serem novamente reciclados (JOHN, 2000).

### **2.3.5 Resíduos utilizados na construção civil**

Ao redor do mundo, são produzidos milhões de toneladas de resíduos inorgânicos todos os dias em mineradoras e indústrias, cortando e polindo pedras para aplicações nas construções, em processos de lixiviação, concentração e purificação de matérias-primas naturais e industrializadas. Como um meio de se adquirir lucro, estes resíduos podem ser utilizados como matérias-primas para a formação de argamassas juntamente com cimentos e areia. Isto é vantajoso devido à reprodutibilidade da composição química e da distribuição do tamanho de partícula destes resíduos.

As pesquisas de reciclagem de resíduos como materiais de construção tem apresentado um crescimento significativo nos últimos anos. Uma conferência Internacional, denominada WASCON – Environmental and Technical Implications of Construction with Alternative Materials pública como se constitui a principal fonte de informação sobre resíduos específicos.

No Brasil, o pioneirismo da pesquisa sobre reciclagem cabe a Prof. Dra. Maria Alba Cincotto, que iniciou os trabalhos nos anos 80, investigando aglomerantes. A primeira atividade do grupo de resíduos da ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, que congrega os pesquisadores da área, foi um Workshop, no qual foram apresentados 20 trabalhos de pesquisadores brasileiros, de 10 organizações de diferentes regiões do Brasil. Os grupos nesta pesquisa mais ativos na área são: PUC, USP, UFRGS, NPC – UFSC, UFSM e

CIENTEC – RS. No Instituto Brasileiro do Concreto, IBRACON, o grupo de trabalho do Meio Ambiente tem concentrado suas atenções em reciclagem. No Departamento de Engenharia de Construção Civil da USP também cresce o número de pesquisas nos diferentes aspectos no tema reciclagem de resíduos na construção civil. Atualmente estão envolvidos no tema vários trabalhos de mestrado e doutorado diretamente relacionados com o tema reciclagem. Outros departamentos, como o Departamento de Materiais, também são envolvidos neste tema.

### **2.3.6 Reciclagem de resíduos para uso na construção civil**

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) vem da antiguidade. Recentemente foi empregada na reconstrução da Europa após a segunda guerra mundial.

Comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida. Este atraso tem vários componentes. Em primeiro lugar, os repetidos problemas econômicos e os prementes problemas sociais ocupam a agenda de discussões políticas. No Estado de São Paulo só recentemente iniciou-se a discussão de uma Política Estadual de Resíduos Sólidos, na forma de um texto de lei aprovado pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente. Este projeto de Lei estabelece uma política sistemática de resíduos, incluindo ferramentas para minimização e reciclagem de resíduos.

## CAPÍTULO 03

---

### 3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento dessa pesquisa. Os materiais serão identificados pela sua procedência e condições físicas.

#### 3.1 Materiais

As argamassas foram confeccionadas utilizando os seguintes materiais:

##### 3.1.1 Cimento Portland

Foi utilizado um cimento Portland com filler, CII-F-32, da marca Poty, fabricado pela Companhia Paraibana de Cimento Portland – CIMEPAR, na cidade de João Pessoa – PB. Este cimento apresenta características compatíveis para a elaboração de argamassa, devido à presença de filler calcário.

O cimento foi adquirido no comércio local e acondicionado em sacos plásticos, para evitar hidratação.

A Tabela 3.1 apresenta os valores obtidos na caracterização física do cimento Portland CII-F-32, utilizado no preparo dos vários tipos de argamassas



estudados, e sua comparação com os limites admitidos pela norma da ABNT. Esses dados foram fornecidos pela própria empresa do cimento.

**Tabela 3.1 - Característica física do cimento Portland CII-F-32**

Ensaio	Resultados	Especificação Norma NBR 11578/91
Área específica (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	3150	≥ 2600
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	3,08	Não aplicável
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,2	Não aplicável
Finura – resíduo na peneira 0,075 mm (# 200) (%)	2,0	≤ 12,0
Finura – resíduo na peneira 0,044 mm (# 325) (%)	14,5	Não aplicável
Água da pasta consistência normal (%)	26,7	Não aplicável
Início de pega (h:min)	02:45	≥ 1
Fim de pega (h:min)	03:25	≤ 10 (facultativo)
Expansibilidade de Le Chatelier – a quente (h: min)	0,50	≤ 5

**Fonte: Cimento Poty/SA**

A Tabela 3.2 apresenta os valores obtidos na caracterização química do cimento Portland CII-F-32, utilizado no preparo dos vários tipos de argamassas estudados, e sua comparação com os limites admitidos pela norma da ABNT. Esses dados foram fornecidos pela própria empresa do cimento.

**Tabela 3.2 - Característica química do cimento Portland CII-F-32**

Ensaio	Resultados	Especificação Norma NBR 11578/91
Perda ao fogo – PF (%)	4,09	≤ 6,5
Óxido de magnésio – MgO (%)	2,54	≤ 6,5
Anidrido sulfúrico – SO <sub>3</sub> (%)	3,05	≤ 4,0
Resíduo insolúvel – RI (%)	1,05	≤ 2,5
Equivalente alcalino (%)	0,90	Não aplicável
Óxido de cálcio livre – CaO (%)	1,18	Não aplicável

**Fonte: Cimento Poty/ISA**

### 3.1.2 Cal

Foi utilizada uma amostra de cal hidratada, conhecida comercialmente pelo nome de Carbomil, proveniente da cidade de João Pessoa – PB.

A Tabela 3.3 apresenta os resultados das propriedades da cal hidratada.

**Tabela 3.3 – Propriedades da cal hidratada**

<b>Propriedades</b>	<b>Cal Hidratada</b>
Odor	Terroso
Cor	Branca a creme
Textura	Micro-cristalina ou coloidal
Estrutura cristalina	Hexagonal
Porosidade	—
Massa específica	2,3 g/cm <sup>3</sup>
Índice de refração	1,54 a 1,58
Ponto de fusão	2570° C
Calor específico	0,27 (0° C) a 0,37 (400° C)

### 3.1.3 Resíduo de caulim

O resíduo de caulim utilizado foi resultante do beneficiamento de caulins primários, extraídos da planície pegmatítica da Borborema, localizada no município de Juazeirinho – PB, distante 100 km da cidade de Campina Grande – PB, cedido pela CAULISA Indústria S/A.

O resíduo de caulim foi destorroado e seco em estufa a 100° C por um período de 24 horas, depois resfriado a temperatura ambiente e em seguida peneirado em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm).

### **3.1.4 Areia**

Foi utilizada areia normal, proveniente do Rio Paraíba, armazenada de acordo com sua identificação, areia grossa, areia média e areia fina. Para ser utilizada a areia foi seca em estufa a uma temperatura de 100° C, segundo a norma ABNT NBR – 7200 (1982).

As areias utilizadas foram as seguintes:

- **Areia grossa** - Usada para o chapisco, seca em estufa e peneirada na peneira ABNT nº 4 (4,8 mm);

- **Areia média** – Usada para assentamento de tijolos e emboço, seca em estufa e peneirada na peneira ABNT nº 8 (2,4 mm);

- **Areia fina** – Usada para reboco, seca em estufa e peneirada na peneira ABNT nº 8 (2,4 mm).

### **3.1.5 Água**

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

## **3.2 Ensaio de caracterização**

### **3.2.1 Caracterização física**

#### **3.2.1.1 Massa específica real**

As amostras de resíduo de caulim, areia e cal foram secas em estufa à 100° C, e acondicionada em sacos plásticos hermeticamente fechados até a realização dos ensaios. A determinação da massa específica real das amostras foi realizada de acordo com a norma ABNT NBR – 6474 (1984).

### **3.2.1.2 Análise granulométrica**

O ensaio granulométrico permite a avaliação da variação dos tamanhos de grãos e a quantidade de partículas de cada intervalo definido pela seqüência de peneiras empregadas, de acordo com recomendação da norma ABNT NBR – 7181 (1984).

### **3.2.1.3 Área específica**

As áreas específicas das amostras foram determinadas pelo método do permeâmetro de Blaine, expresso em  $m^2/g$ , segundo a norma NBR – 7224 (1984).

### **3.2.1.4 Teor de materiais pulverulentos**

As amostras de areia foram submetidas à determinação do teor de materiais pulverulentos, de acordo com as recomendações da norma da ABNT NBR - 7219 (1987).

### **3.2.2 Caracterização mineralógica**

A caracterização mineralógica foi realizada através da análise química, análise termodiferencial (ATD), análise termogravimétrica (ATG) e difração de raios – X, a amostra de resíduo de caulim foi passada em peneiras ABNT nº 200 (0,074 mm), e a amostra de cal foi utilizada na sua forma original.

### **3.2.2.1 Análise química**

A análise química representa um das análises mais importantes para se obter e manter um alto nível de qualidade no ciclo produtivo, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas e tecnológicas.

Em uma análise química clássica normalmente se determina: perda ao fogo, matéria orgânica e os óxidos presentes, tais como:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ .

### **3.2.2.2 Análises térmicas (ATD e ATG)**

As análises termodiferenciais (ATD) e termogravimétricas (ATG) são úteis para indicar as faixas de temperaturas em que ocorrem transformações endotérmicas e exotérmicas e as temperaturas onde ocorrem perdas de massa, respectivamente.

As amostras foram passadas em peneira ABNT nº 200 (0,074 mm) e submetidas através de um sistema de análise térmica modelo RB - 3000 da BP Engenharia, com velocidade de aquecimento  $12,5^\circ \text{C}/\text{min}$ . A temperatura máxima para ATD e ATG foi  $1000^\circ \text{C}$  e o padrão utilizado na ATD foi o óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) calcinado.

### **3.2.2.3 Difração de raios-X**

As análises de difração de raios – X (DRX) das amostras estudadas, foram passadas na peneira ABNT nº 200 (0,074 mm), e realizadas num equipamento modelo XRD 6000, operando com radiação K-alfa de cobre, 30 kV 40 mA, com varredura entre  $2\theta$  ( $3^\circ$ ) e  $2\theta$  ( $60^\circ$ ), com velocidade de varredura de  $2^\circ/\text{min}$ .

### 3.3 Ensaio tecnológicos

#### 3.3.1 Preparação das argamassas

##### 3.3.1.1 Argamassas convencionais

Na confecção dos traços das argamassas convencionais, os aglomerantes utilizados foram os seguintes:

- Cimento Portland composto CII-F-32;
- Cal Hidratada Carbomil.

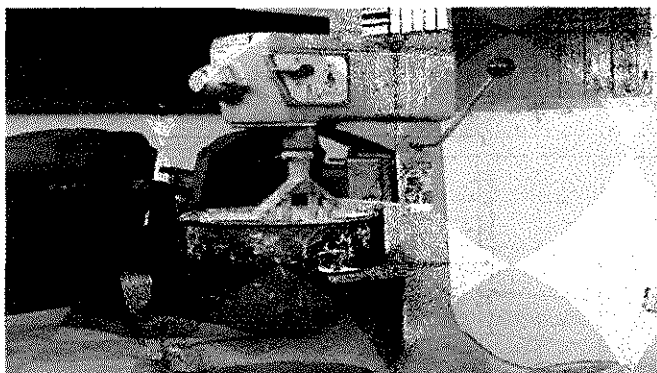
A Tabela 3.4 apresenta os traços, recomendados pela ABNT, CIGRA, e PINI, para as argamassas convencionais.

**Tabela 3.4 – Traços para argamassas convencionais recomendados pela ABNT, PINI e CIGRA**

Traços em volume			
Finalidade	Indicação	Proporções	Materiais
Chapisco	ABNT	1:2:3	cimento: cal: areia grossa
	CIGRA	1:4:28	cimento: cal: areia média
Assentamento de tijolos	CIGRA	1:5	cal: areia média
	CIGRA	1:6	cal: areia média
Emboço	ABNT/PINI	1:2:11	cimento: cal: areia média
	ABNT/PINI	1:4	cal: areia média
	ABNT/PINI	1:7	cal: areia média
Reboco	CIGRA	1:2:9	cimento: cal: areia fina
	ABNT/PINI	1:3	cal: areia fina
	ABNT/PINI	1:4,5	cal: areia fina

Os corpos de prova foram confeccionados em formato cilíndrico, com dimensões de 5 x 10 cm, através de uma adaptação das especificações da norma ABNT NBR - 7215 (1982) para argamassas.

Após a pesagem de cada material a ser utilizado para os traços nas suas devidas proporções, foram colocados em um misturador mecânico para argamassa, da marca "Blakeslee" (Figura 3.1) com três velocidades de rotação (velocidade 1, 2 e 3).



**Figura 3.1 – Misturador mecânico para argamassa**

### **3.3.1.2 Argamassas alternativas**

A confecção dos traços para as argamassas alternativas foi feito a partir dos traços para as argamassas convencionais. Nas argamassas alternativas foi realizada a substituição da proporção de cal hidratada por resíduo de caulim, mantendo as mesmas proporções de cimento.

A Tabela 3.5 apresenta os traços de argamassas alternativas determinados a partir dos traços para argamassas convencionais, indicados na Tabela 3.4.

**Tabela 3.5 – Traços para argamassas alternativas, recomendados pela ABNT, PINI e CIGRA, feitas a partir de traços para argamassas convencionais**

Traços em volume				
Finalidade	Indicação	Proporção	Resíduo	Materiais
Chapisco	ABNT	1:2:3	5% resíduo	cim.: cal: areia grossa: resíduo
			10% resíduo	cim.: cal: areia grossa: resíduo
			15% resíduo	cim.: cal: areia grossa: resíduo
			20% resíduo	cim.: cal: areia grossa: resíduo
Assenta- mento de tijolos	CIGRA	1:4:28	5% resíduo	cim.: cal: areia média: resíduo
			10% resíduo	cim.: cal: areia média: resíduo
			15% resíduo	cim.: cal: areia média: resíduo
			20% resíduo	cim.: cal: areia média: resíduo
Emboço	ABNT/ PINI	1:2:11	5% resíduo	cim.: cal: areia média: resíduo
			10% resíduo	cim.: cal: areia média: resíduo
			15% resíduo	cim.: cal: areia média: resíduo
			20% resíduo	cim.: cal: areia média: resíduo
Reboco	CIGRA	1:2:9	5% resíduo	cim.: cal: areia fina: resíduo
			10% resíduo	cim.: cal: areia fina: resíduo
			15% resíduo	cim.: cal: areia fina: resíduo
			20% resíduo	cim.: cal: areia fina: resíduo

A Tabela 3.6 apresenta os traços de argamassas alternativas, determinados a partir dos traços para argamassas convencionais, indicados na Tabela 3.4.

**Tabela 3.6 – Traços para argamassas alternativas (cal + resíduo) recomendados pela ABNT, PINI e CIGRA**

Traços em volume			
Finalidade	Indicação	Proporções	Materiais
Assentamento de tijolos	CIGRA	1:5	cal: resíduo de caulim
	CIGRA	1:6	cal: resíduo de caulim
Emboço	ABNT/PINI	1:4	cal: resíduo de caulim
	ABNT/PINI	1:7	cal: resíduo de caulim



	ABNT/PINI	1:3	cal: resíduo de caulim
Reboco	ABNT/PINI	1:4,5	cal: resíduo de caulim

Na confecção dos traços das argamassas alternativas, os aglomerantes utilizados foram os seguintes:

- cimento Portland composto CP11-F-32;
- cal hidratada carbomil;
- resíduo de caulim.

A consistência destas argamassas alternativas foi feita de forma similar às argamassas convencionais.

### 3.3.2 Moldagem dos corpos de prova

Os corpos de prova foram confeccionados em moldes cilíndricos de ferro com base rosquiada. Com dimensões básicas de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, conforme ilustrado na Figura 3.2.



**Figura 3.2 – Molde cilíndrico rosquiado para moldagem dos corpos de prova**

Antes da moldagem de cada corpo de prova foi passado óleo na superfície interna de cada forma, para facilitar a desforma. Os corpos de prova, após desformados, foram identificados com letras e números, de acordo com cada traço. A letra se

referia a finalidade de cada traço, e o número à ordem de cada traço. Foram moldados 24 corpos de prova para cada traço, sendo 4 corpos de prova no período de cura a ser avaliado (7, 28 e 60 dias) para a verificação da resistência a compressão simples, e 4 corpos de prova para determinação da verificação da resistência a tração indireta.

Os ensaios foram realizados de acordo com a norma da ABNT NBR – 7215 (1982).

A identificação dos corpos de provas foi feita da seguinte maneira:

C – Chapisco;

A – Assentamento de Tijolos;

E – Emboço;

R – Reboco.

### **3.3.3 Cura**

Os corpos de prova foram submetidos durante um período de cura de 7, 28 e 60 dias.

Após a confecção inicia-se a cura dos corpos de prova, colocados submersos em água.

A idade de cura aos 28 dias é uma idade padrão determinada por norma da ABNT NBR – 7184 (1991), para verificação da resistência a compressão; a idade de 7 dias tem a finalidade de obter uma verificação prévia para saber se a resistência da idade padrão (28 dias) tem uma probabilidade mínima de ser atingida, e a cura aos 60 dias tem por objetivo a verificação da evolução da resistência com o tempo.

Foram utilizados dois tipos de cura:

- **Cura imersa em água** – Os corpos de prova ficaram submersos em água, em tanque com 2% de cal, de acordo com a norma ABNT NBR – 7215 (1982). O volume de água do tanque foi determinado da maneira que os corpos de provas ficassem totalmente submersos;

- **Cura aérea** – Os corpos de prova ficaram expostos ao ar em uma câmara úmida, molhados com uma pequena quantidade de água, no mínimo a cada 7 dias.

A Figura 3.3 mostra detalhe da câmara úmida onde os corpos de prova foram colocados para cura.

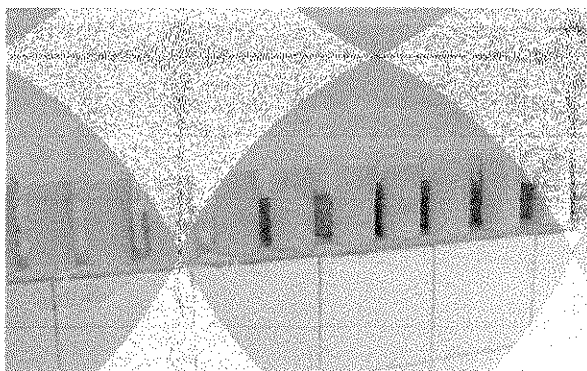


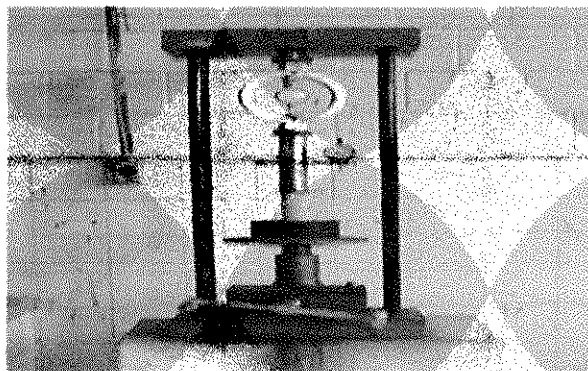
Figura 3.3 – Corpos de prova em cura aérea

### 3.4 Propriedades físicos-mecânicas

#### 3.4.1 Resistência à compressão simples (RCS)

Para a determinação dos valores da resistência à compressão simples, foi utilizada a norma da ABNT NBR – 13279 (1995), neste método, os corpos de prova são submetidos a um esforço de compressão axial até que ocorra a sua ruptura.

O equipamento utilizado para o ensaio foi uma prensa "Testop", (Figura 3.4) composta por um anel de carga igual a 5000 kg e uma constante igual a 2,6308. A velocidade de carregamento obedeceu à norma ABNT NBR - 7215 (1982). A carga de ruptura foi à carga máxima média, em quilogramas força, dos valores indicados pelo equipamento, no instante da ruptura.



**Figura 3.4 – Corpo de prova submetido a um esforço de Compressão Axial**

O valor da resistência à compressão simples foi expressa em MPa, e calculada da seguinte forma:

- Multiplicação da deformação pela leitura do anel (2,6308);
- Divisão do valor pela área do corpo de prova (19,5 cm<sup>2</sup>);
- Resultado dividido por 10, obtém a resistência em MPa.

O resultado representa a média dos quatro corpos de prova para cada traço. Observando-se que se um dos valores da resistência deferiu da média, automaticamente foi eliminado e calculou-se a nova média dos três restantes corpos de prova.

#### **3.4.2 Resistência à tração indireta (RTI)**

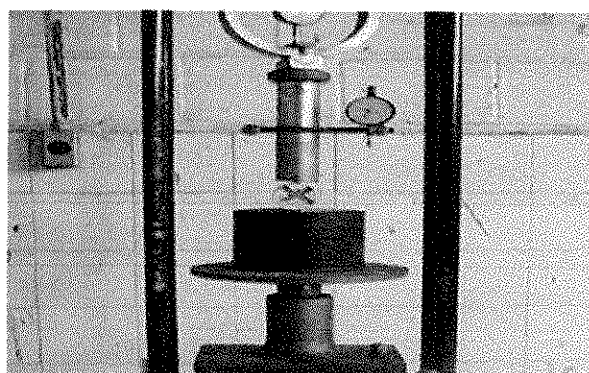
A determinação do comportamento mecânico da resistência à tração indireta foi feita pelo equipamento utilizado para o ensaio, uma prensa "Testop", (Figura 3.5) composta por um anel de carga igual a 5000 kg e uma constante igual a 2,6308. A carga de ruptura foi à carga máxima média em (Kgf), dos valores indicados pelo equipamento, no instante da ruptura.

Após os respectivos períodos de cura, os corpos foram retirados do tanque, e deixados à temperatura ambiente por um período mínimo de 2 horas. Em seguida rompidos. A carga de ruptura foi indicada por um ponteiro de relógio no momento em que o corpo foi rompido (Figura 3.5).

O valor da resistência à tração indireta, em MPa, foi calculada da seguinte forma:

$$F_{T,D} = \frac{2F}{\pi dl}$$

- $F$  = Carga máxima obtida no ensaio (Kgf);
- $d$  = Diâmetro do corpo de prova (mm);
- $l$  = Altura do corpo de prova (mm);
- $\pi$  = Pi (3,14).



**Figura 3.5 – Corpo de prova submetido a um esforço de Tração Indireta**

O resultado representa a média dos quatro corpos de prova para cada traço. Observando-se que se um dos valores da resistência deferiu da média, automaticamente foi eliminado e calculou-se a nova média dos três restantes corpos de prova.

## **CAPÍTULO 04**

---

### **4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nesta pesquisa em seus diversos itens. Ensaio de caracterização (físicos e mineralógicos) e ensaios tecnológicos, através do comportamento mecânico das amostras convencionais e alternativas. A caracterização física constitui-se na determinação da densidade e granulometria. A caracterização mineralógica constitui-se na determinação da composição química, análise termodiferencial, análise termogravimétrica e difração de raios – X. O ensaio tecnológico realizado nos corpos de prova constitui-se na determinação das resistências à compressão simples e tração indireta.

#### **4.1 Ensaio de caracterização**

##### **4.1.1 Caracterização física**

###### **4.1.1.1 Massa específica real**

A Tabela 4.1 apresenta os valores obtidos da massa específica real do resíduo de caulim, da cal hidratada e dos três tipos de areia utilizados.

Tabela 4.1 – Massa específica real das amostras estudadas

Amostras	Massa específica real (g/cm <sup>3</sup> )
Resíduo de caulim	2,61
Cal carbomil	2,28
Areia fina	2,60
Areia média	2,60
Areia grossa	2,60

Observando os resultados obtidos na Tabela 4.1, verifica-se que os valores da massa específica real varia entre 2,286 g/cm<sup>3</sup>, para a cal carbomil e 2,600 g/cm<sup>3</sup>, para a areia do tipo fina. Estes valores estão dentro da faixa estabelecido pela ABNT NBR – 9776 (1987), que fica entre 2,20 – 2,65 g/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.1.2 Teor de materiais pulverulentos

A Tabela 4.2 apresenta os valores obtidos do teor de materiais pulverulentos, dos três tipos de areia utilizados.

Tabela 4.2 – Teor de materiais pulverulentos das areias

Amostras	Teor de material pulverulento (%)
Areia fina	0,36
Areia média	0,28
Areia grossa	0,16

Observando-se os resultados contidos na Tabela 4.2, verifica-se que as areias apresentam porcentagens de 0,16 a 0,36% de material pulverulento, logo não excedendo os limites máximos estabelecidos pela norma ABNT NBR - 7211 (1983).

#### 4.1.1.3 Análise granulométrica

##### 4.1.1.3.1 Areia



A Tabela 4.3 e a Figura 4.1 apresentam a distribuição granulométrica para a areia fina.

Tabela 4.3 - Composição granulométrica da areia fina

Peneira ABNT (mm)	% Acumulada retida	% que passa amostra total
9,5	0,0	100,00
6,3	0,0	100,00
4,8	4,95	95,05
2,4	10,78	89,22
1,2	31,58	68,42
0,6	41,40	58,60
0,3	66,66	33,34
0,15	87,42	12,58
Resto	99,71	0,29

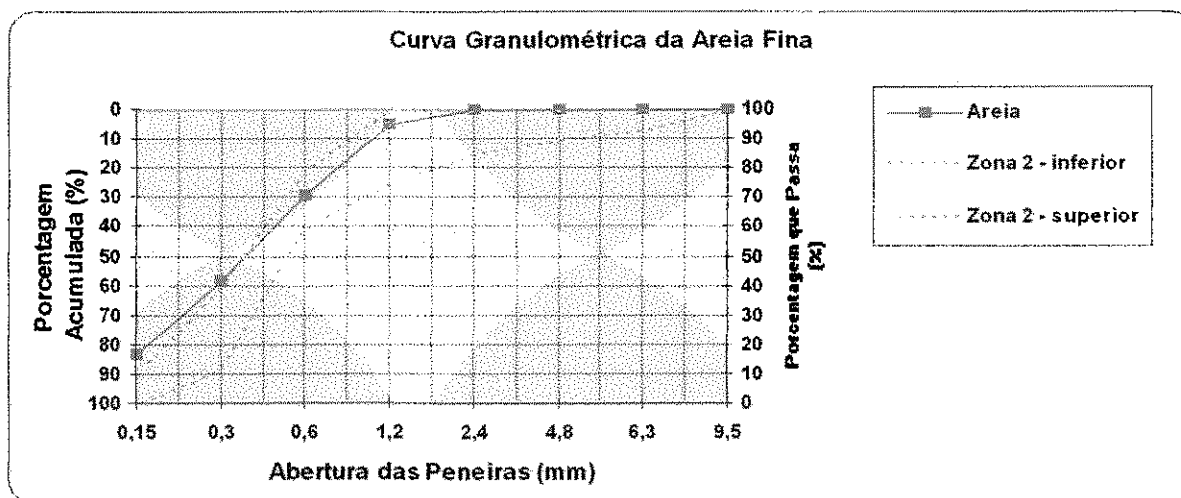


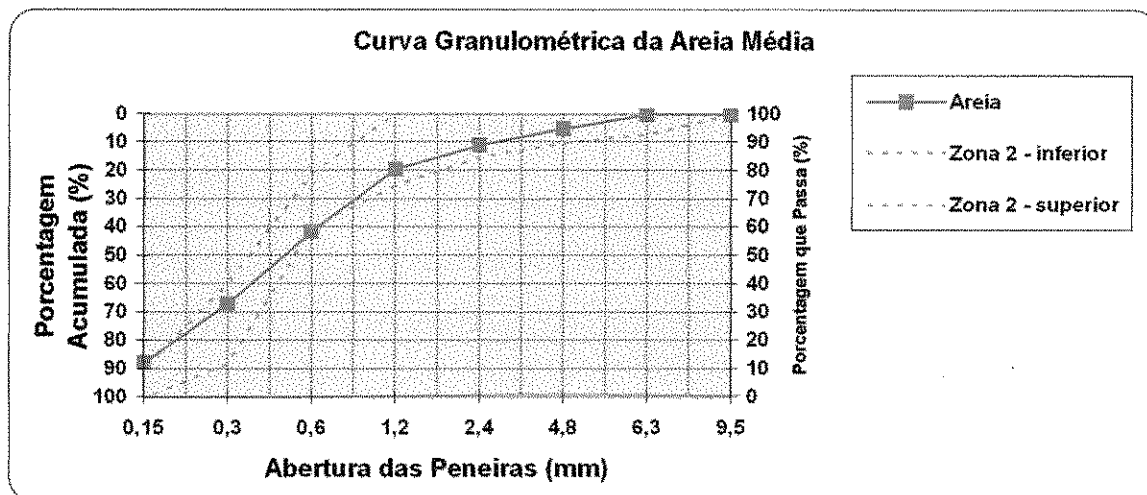
Figura 4.1 – Curva granulométrica da areia fina e seu enquadramento na zona de classificação estabelecida pela NBR 7211/83

Analisando-se as porcentagens, em peso, retidas e acumuladas nas peneiras do padrão da ABNT, apresentada na Tabela 4.3 e na Figura 4.1, verifica-se que a areia fina enquadra-se entre a zona inferior e superior, então esta areia, pela norma da ABNT NBR 7211 (1983) é adequada para uso em argamassas.

A Tabela 4.4 e a Figura 4.2 apresentam a distribuição granulométrica para a areia média.

**Tabela 4.4 - Composição granulométrica da areia média**

Peneira ABNT (mm)	% Acumulada retida	% que passa amostra total
9,5	0,0	100,00
6,3	0,0	100,00
4,8	4,95	95,05
2,4	10,78	89,22
1,2	31,58	68,42
0,6	41,40	58,60
0,3	66,66	33,34
0,15	87,42	12,58
Resto	99,71	0,29



**Figura 4.2 – Curva granulométrica da areia média e seu enquadramento na zona de classificação estabelecida pela NBR 7211/83**

Analisando-se as porcentagens, em peso, retidas e acumuladas nas peneiras do padrão da ABNT, apresentada na Tabela 4.4 e na Figura 4.2, verifica-se que a areia média enquadra-se entre a zona inferior e superior, então esta areia, pela norma da ABNT NBR 7211 (1983), é adequada para uso em argamassas.

A Tabela 4.5 e a Figura 4.3 apresentam a distribuição granulométrica para a areia grossa.

Tabela 4.5 - Composição granulométrica da areia grossa

Peneira ABNT (mm)	% Acumulada retida	% que passa amostra total
9,5	0,0	100,00
6,3	0,17	99,83
4,8	1,39	98,61
2,4	10,16	89,84
1,2	31,23	68,77
0,6	66,11	33,89
0,3	94,68	5,32
0,15	99,24	0,76
Resto	100,00	0,00

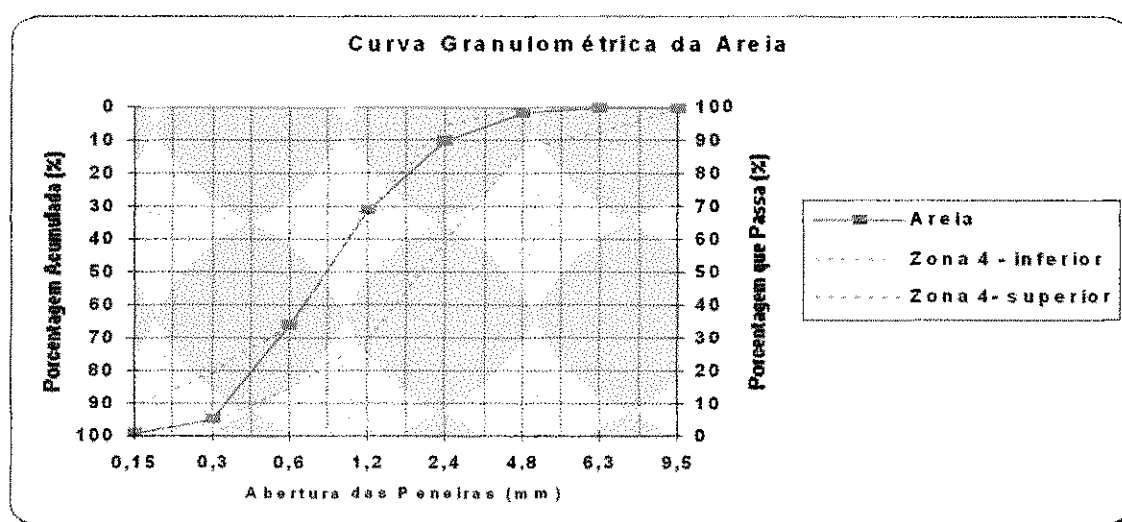


Figura 4.3 – Curva granulométrica da areia grossa e seu enquadramento na zona de classificação estabelecida pela NBR 7211/83

Analisando-se os valores das curvas granulométricas verifica-se que a areia grossa se enquadra na zona 4 (grossa) seguindo a NBR - 7211 (1983), em relação ao módulo de finura verifica-se pela distribuição dos tamanhos dos grãos apresentados que esta areia é adequada para a produção de argamassa.

A Tabela 4.6 mostra a classificação das areias de acordo com sua granulometria, com base no diâmetro máximo e no módulo de finura.

**Tabela 4.6 – Classificação das areias**

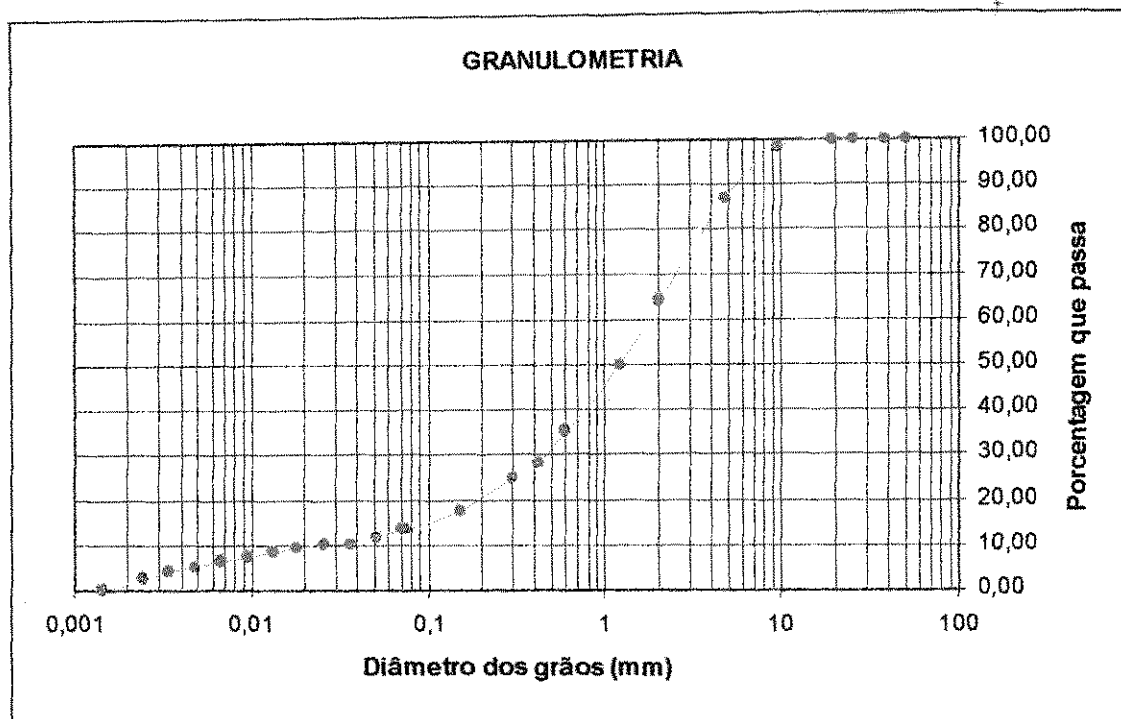
Amostras	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura (%)
Areia fina	1,2	1,75
Areia média	2,4	2,36
Areia grossa	4,8	3,03

É importante ressaltar que a dimensão nominal máxima do agregado foi determinada de acordo com a NBR – 7200 (1982), que adota a seguinte característica: chapisco, 4,8 mm (areia grossa), assentamento de tijolos e emboço, 2,4 mm (areia média), e reboco 1,20 mm (areia fina). De acordo com a composição granulométrica das areias identificadas em laboratório, podemos observar que elas apresentam grãos mistos e bem graduados, colaborando assim para um menor espaço vazio possível entre os grãos e para uma melhor trabalhabilidade das argamassas.

#### **4.1.1.3.2 Resíduo**

A Figura 4.4 apresenta a distribuição granulométrica do resíduo.

Através da análise da curva granulométrica do resíduo, observa-se uma distribuição contínua dos grãos em toda a faixa granulométrica, apresentando 87,1% das partículas com diâmetro abaixo de 4,8 mm e 13,8% menor que 0,074 mm. Comparando os limites granulométricos desse material com os limites granulométricos do agregado miúdo estabelecido na norma ABNT NBR 7211/83, verifica-se que este material não se enquadra em nenhuma das zonas.



**Figura 4.4 – Curva granulométrica do resíduo**

#### 4.1.2 Caracterização mineralógica

##### 4.1.2.1 Análise química

A Tabela 4.7 apresenta os valores das composições química do resíduo de caulim e da cal carbomil.

**Tabela 4.7 – Composição química das amostras estudadas**

Amostras	Resíduo de caulim	Cal carbomil
Pr (Perda ao rubro)	10,93%	23,62
SiO <sub>2</sub> (Óxido de silício)	49,52%	0,78
RI (Resíduo insolúvel)	0,50%	0,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de ferro)	0,40%	Traços
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Óxido de alumínio)	36,80%	Traços
CaO (Óxido de cálcio)	Traços	72,80
MgO (Óxido de magnésio)	Traços	2,31
Na <sub>2</sub> O (Óxido de sódio)	0,14%	Traços
K <sub>2</sub> O (Óxido de potássio)	1,050%	Traços

Observando-se a Tabela 4.7, verifica-se que o resíduo de caulim apresenta elevado teor de  $\text{SiO}_2$  (Óxido de silício), 49,52 %, com este resultado, em relação aos demais componentes, possibilita a aplicação deste material na confecção de argamassas.

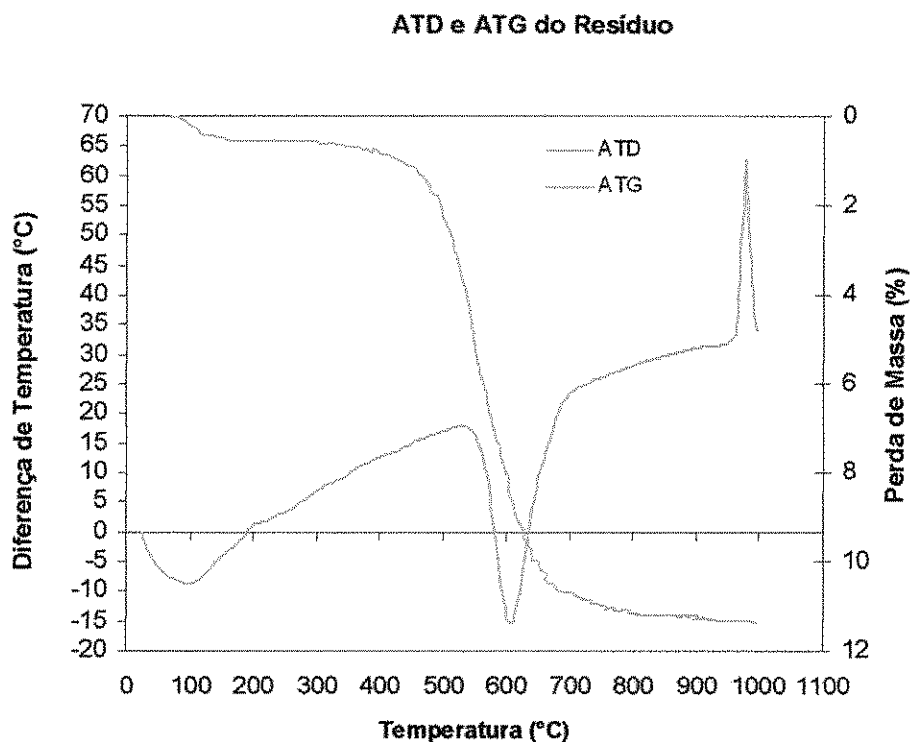
A cal carbomil apresenta teor de  $\text{SiO}_2$  (Óxido de silício) de 0,78 %, porcentagens de CaO e MgO de aproximadamente 72,8 % e 2,31 %, respectivamente, PR (Perda ao rubro) de 23,62 % e RI (Resíduo insolúvel) de 0,06 %. Portanto trata-se de uma cal calcítica.

#### **4.1.2.2 Análise termodiferencial e termogravimétrica**

A Figura 4.5 apresenta as curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de caulim.

Analisando as curvas de ATD na Figura 4.5, verifica-se que o resíduo de caulim apresenta pico endotérmico de pequena intensidade a 100 °C, o que caracteriza a presença de água livre; pico endotérmico de grande intensidade a 600 °C, correspondente à presença de hidroxila e a transformação de quartzo alfa e quartzo beta, pico exotérmico de grande intensidade a 950 °C, correspondente à nucleação de mulita.

Analisando as curvas de ATG na Figura 4.5, verifica-se perda de massa total de 9,12%, correspondente à perda de água livre e de hidroxilas. Comparando esse resultado com os valores determinados por Ramalho (2004), verifica-se que o resíduo estudado apresenta curvas termogravimétricas similares.



**Figura 4.5 – Análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo**

#### **4.1.2.3 Difração de raios – X**

A Figura 4.6 apresenta a difração de raios-X do resíduo de caulim.

Analisando o difratograma (Figura 4.6) observa-se a presença de caulinita, caracterizada pelas distâncias interplanares de 7,07 e 3,56 Å, e pequena quantidade de mica moscovita, caracterizada por 10,04 e 4,97 Å e quartzo (SiO<sub>2</sub>) caracterizado pela distância interplanar de 3,34 Å.

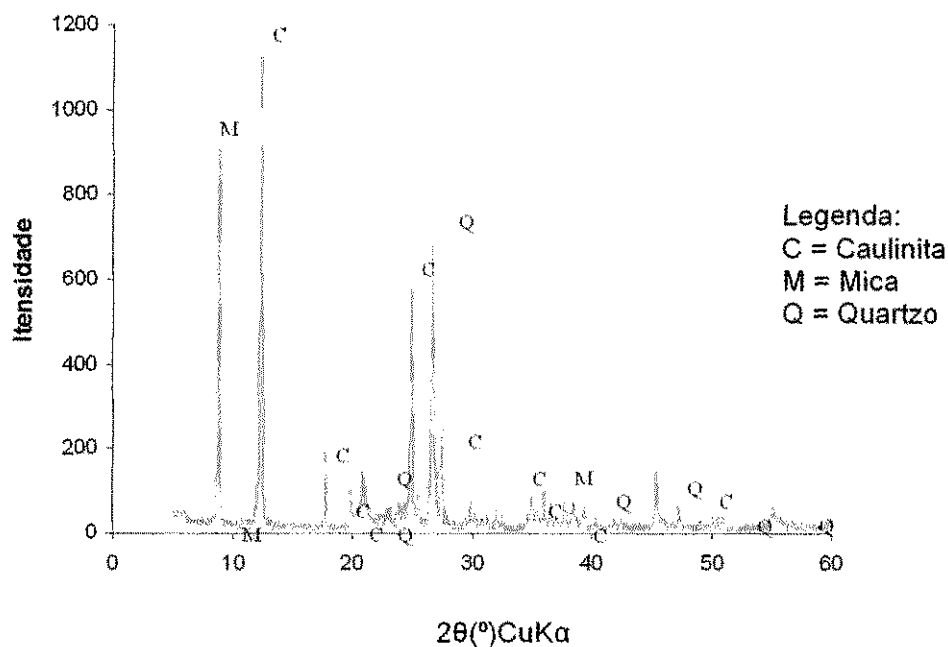


Figura 4.6 - Difratograma do resíduo de caulim

## 4.2 Ensaios tecnológicos

### 4.2.1 Argamassas convencionais

#### 4.2.1.1 Resistência à compressão simples (RCS)

##### - Chapisco

A Tabela 4.8 apresenta os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa convencional chapisco com traço 1:2:3 (cimento:cal:areia grossa) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

Tabela 4.8 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa convencional chapisco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura

ARGAMASSA CONVENCIONAL						
Tipo de argamassa	Traço em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			f <sub>a/c</sub>	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Chapisco	1:2:3	cim:cal:areia grossa	0,76	1,45 ± 0,07	1,83 ± 0,05	1,88 ± 0,12



Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.8 para a resistência à compressão simples (RCS), observa-se que os valores médios das argamassas convencionais para chapisco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a um período de cura maior. Verificou-se que o valor de RCS para o traço 1:2:3 o melhor resultado foi de 1,88 MPa, 60 dias de cura. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que esse valor se encontra dentro das especificações.

#### - Assentamento de tijolos

A Tabela 4.9 apresenta os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa convencional assentamento de tijolos com traços 1:4:28 (cimento:cal:areia média), 1:5 (cal:areia média) e 1:6 (cal:areia média) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

**Tabela 4.9 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa convencional assentamento de tijolos para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA CONVENCIONAL						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			$f_{alc}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Assentamento de tijolos	1:4:28	cim:cal:areia média	0,76	0,32 ± 0,03	0,47 ± 0,02	0,58 ± 0,02
Assentamento de tijolos	1:5	cal:areia média	1,25	0,15 ± 0,02	0,26 ± 0,02	0,35 ± 0,03
Assentamento de tijolos	1:6	cal:areia média	1,34	0,16 ± 0,02	0,28 ± 0,03	0,38 ± 0,02

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.9 para a resistência à compressão simples (RCS), observa-se que os valores médios das argamassas convencionais para assentamento de tijolos aumentam consideravelmente à medida que submetidos a um período de cura maior. Verificou-se que os valores de RCS para os traços 1:4:28, 1:5 e 1:6 os melhores resultados foram de 0,58 MPa, 0,35 MPa e

0,38 MPa respectivamente, 60 dias de cura. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

### - Emboço

A Tabela 4.10 apresenta os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa convencional emboço com traços 1:2:11 (cimento:cal:areia média), 1:4 (cal:areia média) e 1:7 (cal:areia média) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

**Tabela 4.10 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa convencional emboço para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA CONVENCIONAL						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Emboço	1:2:11	cim:cal:areia média	1,11	0,93 ± 0,09	0,94 ± 0,07	1,44 ± 0,07
Emboço	1:4	cal:areia média	1,04	0,40 ± 0,05	0,42 ± 0,04	0,44 ± 0,03
Emboço	1:7	cal:areia média	1,41	0,29 ± 0,03	0,32 ± 0,03	0,37 ± 0,02

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.10 para a resistência à compressão simples (RCS), observa-se que os valores médios das argamassas convencionais para emboço aumentam consideravelmente à medida que submetidos a um período de cura maior. Verificou-se que os valores de RCS para os traços 1:2:11, 1:4 e 1:7 os melhores resultados foram de 1,44 MPa, 0,44 MPa e 0,37 MPa respectivamente, 60 dias de cura. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

### - Reboco

A Tabela 4.11 apresenta os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa convencional reboco com traços 1:2:9 (cimento:cal:areia fina), 1:3 (cal:areia fina) e 1:4,5 (cal:areia fina) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

**Tabela 4.11 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa convencional reboco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA CONVENCIONAL						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	$f_{a/c}$	Resistência à compressão simples (MPa)		
				Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Reboco	1:2:9	cim:cal:areia fina	0,81	1,89 ± 0,20	1,91 ± 0,13	2,86 ± 0,20
Reboco	1:3	cal:areia fina	0,96	0,18 ± 0,04	0,19 ± 0,03	0,22 ± 0,04
Reboco	1:4,5	cal:areia fina	1,09	0,19 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,25 ± 0,03

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.11 para a resistência à compressão simples (RCS), observa-se que os valores médios das argamassas convencionais para reboco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a um período de cura maior. Verificou-se que os valores de RCS para os traços 1:2:9, 1:3 e 1:4,5 os melhores resultados foram de 2,86 MPa, 0,22 MPa e 0,25 MPa respectivamente, 60 dias de cura. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### 4.2.1.2 Resistência à tração indireta (RTI)

##### - Chapisco

A Tabela 4.12 apresenta os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa convencional chapisco com traço 1:2:3 (cimento:cal:areia grossa) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

**Tabela 4.12 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa convencional chapisco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA CONVENCIONAL						
Tipo de argamassa	Traço em volume	Materiais	Resistência à tração indireta (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Chapisco	1:2:3	cim:cal:areia grossa	0,76	0,37 ± 0,10	0,62 ± 0,05	0,75 ± 0,07

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.12 para a resistência à tração indireta (RTI), observa-se que os valores médios das argamassas convencionais para chapisco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a um período de cura maior. Verificou-se que o valor de RTI para o traço 1:2:3 o melhor resultado foi de 0,75 MPa, 60 dias de cura. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que esse valor se encontra dentro das especificações.

#### - Assentamento de tijolos

A Tabela 4.13 apresenta os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa convencional assentamento de tijolos com traços 1:4:28 (cimento:cal:areia média), 1:5 (cal:areia média) e 1:6 (cal:areia média) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

**Tabela 4.13 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa convencional assentamento de tijolos para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA CONVENCIONAL						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à tração indireta (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Assentamento	1:4:28	cim:cal:areia média	0,76	0,21 ± 0,04	0,22 ± 0,07	0,31 ± 0,04
Assentamento	1:5	cal:areia média	1,25	0,06 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,19 ± 0,04

Assentamento	1:6	cal:areia média	1,34	0,10 ± 0,01	0,13 ± 0,03	0,22 ± 0,01
--------------	-----	-----------------	------	-------------	-------------	-------------

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.13 para a resistência à tração indireta (RTI), observa-se que os valores médios das argamassas convencionais para assentamento de tijolos aumentam consideravelmente à medida que submetidos a um período de cura maior. Verificou-se que os valores de RTI para os traços 1:4:28, 1:5 e 1:6 os melhores resultados foram de 0,31 MPa, 0,19 MPa e 0,22 MPa respectivamente, 60 dias de cura. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Emboço

A Tabela 4.14 apresenta os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa convencional emboço com traços 1:2:11 (cimento:cal:areia média), 1:4 (cal:areia média) e 1:7 (cal:areia média) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura

**Tabela 4.14 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa convencional emboço para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA CONVENCIONAL						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	$f_{a/c}$	Resistência à tração indireta (MPa)		
				Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Emboço	1:2:11	cim:cal:areia média	1,11	0,21 ± 0,02	0,22 ± 0,06	0,80 ± 0,04
Emboço	1:4	cal:areia média	1,04	0,17 ± 0,02	0,19 ± 0,03	0,22 ± 0,02
Emboço	1:7	cal:areia média	1,41	0,19 ± 0,02	0,21 ± 0,04	0,23 ± 0,03

Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.14 para a resistência à tração indireta (RTI), observa-se que os valores médios das argamassas convencionais para emboço aumentam consideravelmente à medida que submetidos a um

período de cura maior. Verificou-se que os valores de RTI para os traços 1:2:11, 1:4 e 1:7 os melhores resultados foram de 0,80 MPa, 0,22 MPa e 0,23 MPa respectivamente, 60 dias de cura. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

### - Reboco

A Tabela 4.15 apresenta os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa convencional reboco com traços 1:2:9 (cimento:cal:areia fina), 1:3 (cal:areia fina) e 1:4,5 (cal:areia fina) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

**Tabela 4.15 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa convencional reboco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA CONVENCIONAL						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à tração indireta (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Reboco	1:2:9	cim:cal:areia fina	0,81	$0,50 \pm 0,08$	$0,52 \pm 0,08$	$0,92 \pm 0,10$
Reboco	1:3	cal:areia fina	0,96	$0,10 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,07$	$0,20 \pm 0,04$
Reboco	1:4,5	cal:areia fina	1,09	$0,11 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,03$	$0,18 \pm 0,03$

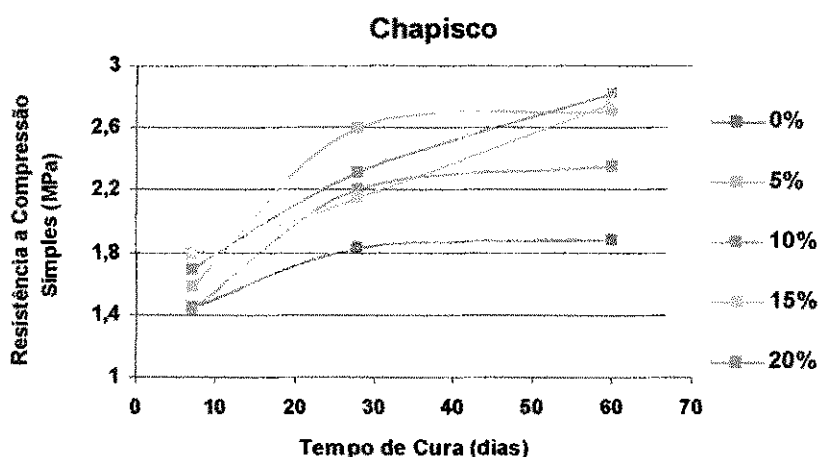
Analisando os resultados obtidos na Tabela 4.15 para a resistência à tração indireta (RTI), observa-se que os valores médios das argamassas convencionais para reboco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a um período de cura maior. Verificou-se que os valores de RTI para os traços 1:2:9, 1:3 e 1:4,5 os melhores resultados foram de 0,92 MPa, 0,20 MPa e 0,18 MPa respectivamente, 60 dias de cura. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

## 4.2.2 Argamassas alternativas

### 4.2.2.1 Resistência à compressão simples (RCS)

#### - Chapisco

A Tabela 4.15 (Anexo) e a Figura 4.7 apresentam os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa alternativa chapisco com traço 1:2:3 (cimento:cal:areia grossa) incorporada com resíduo de caulim para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.7 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa chapisco (traço 1:2:3) em função do tempo de cura**

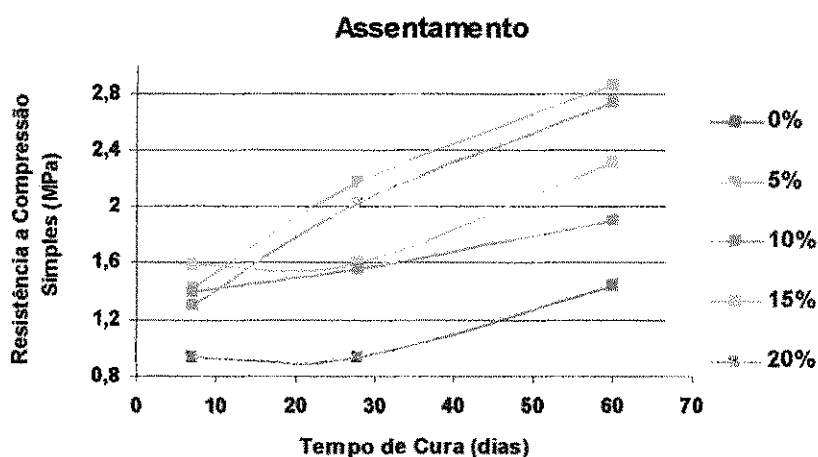
Analisando as curvas da Figura 4.7 para a resistência à compressão simples (RCS), verifica-se que a incorporação de resíduo no traço 1:2:3 para o chapisco elevou o comportamento mecânico para todas as porcentagens em relação as convencionais, sendo os melhores resultados para as argamassas incorporadas com 20% de resíduo e tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o chapisco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de

cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento (Anexo) o valor de 0,79 MPa (10% resíduo) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Assentamento de tijolos

A Tabela 4.16 (Anexo) e a Figura 4.8 apresentam os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa alternativa assentamento de tijolos com traço 1:4:28 (cimento:cal:areia média) incorporada com resíduo de caulim para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.8 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (traço 1:4:28) em função do tempo de cura**

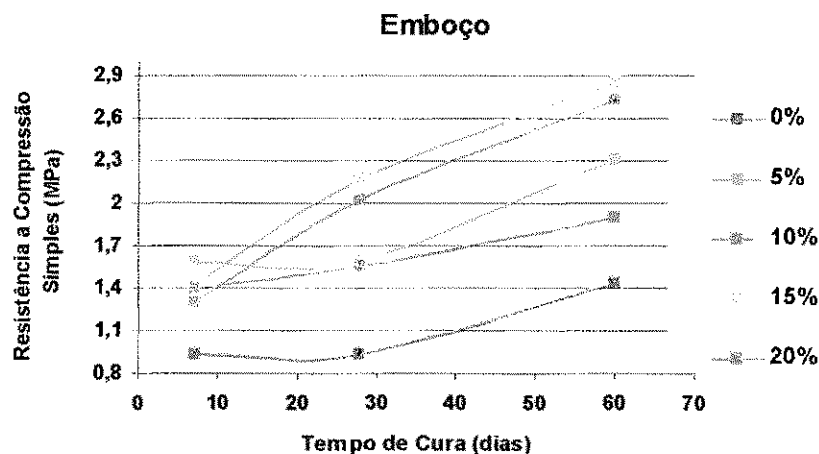
Analisando as curvas da Figura 4.8 para a resistência à compressão simples (RCS), verifica-se que a incorporação de resíduo no traço 1:4:28 para o assentamento de tijolos elevou o comportamento mecânico para todas as porcentagens em relação as convencionais, sendo os melhores resultados para as argamassas incorporadas com 5% de resíduo e tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.



Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o assentamento de tijolos aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento (Anexo) o valor de 1,18 MPa (20% resíduo) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

### - Emboço

A Tabela 4.17 (Anexo) e a Figura 4.9 apresentam os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa alternativa emboço com traço 1:2:11 (cimento:cal:areia média) incorporada com resíduo de caulim para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.9 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa emboço (traço 1:2:11) em função do tempo de cura**

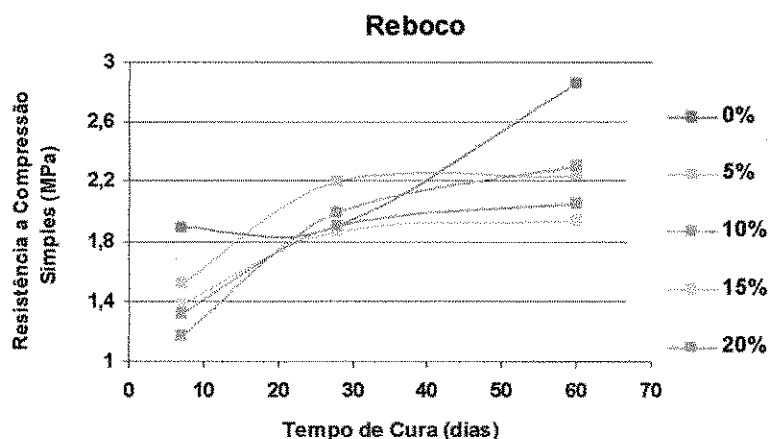
Analisando as curvas da Figura 4.9 para a resistência à compressão simples (RCS), verifica-se que a incorporação de resíduo no traço 1:2:11 para o emboço elevou o comportamento mecânico para todas as porcentagens em relação as convencionais, sendo os melhores resultados para as argamassas incorporadas com 5% de resíduo e tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser

atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o emboço aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento (Anexo) o valor de 0,87 MPa (20% resíduo) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Reboco

A Tabela 4.18 (Anexo) e a Figura 4.10 apresentam os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa alternativa reboco com traço 1:2:9 (cimento:cal:areia fina) incorporada com resíduo de caulim para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.10 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa reboco (traço 1:2:9) em função do tempo de cura**

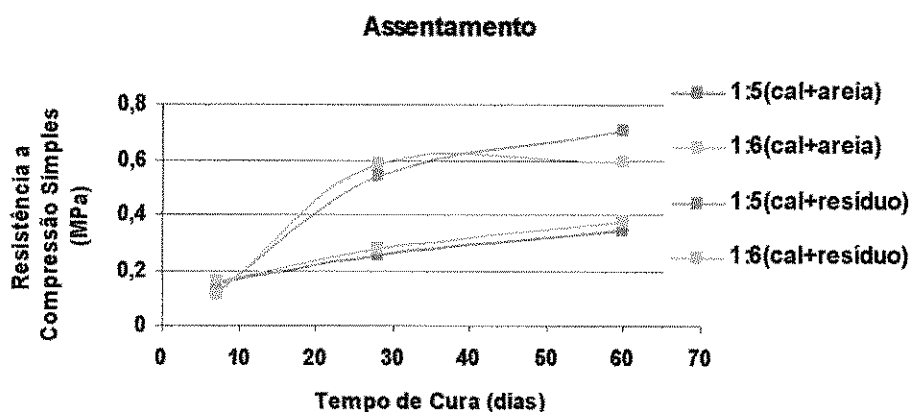
Analisando as curvas da Figura 4.10 para a resistência à compressão simples (RCS), verifica-se que a incorporação de resíduo no traço 1:2:9 para o reboco elevou o comportamento mecânico para todas as porcentagens em relação as

convencionais, sendo os melhores resultados para as argamassas incorporadas com 0% de resíduo e tempo de cura de 60 dias.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o reboco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento (Anexo) o valor de 0,83 MPa (20% resíduo) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Assentamento de tijolos (cal + areia, cal + resíduo)

A Tabela 4.19 (Anexo) e a Figura 4.11 apresentam os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.11 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura**

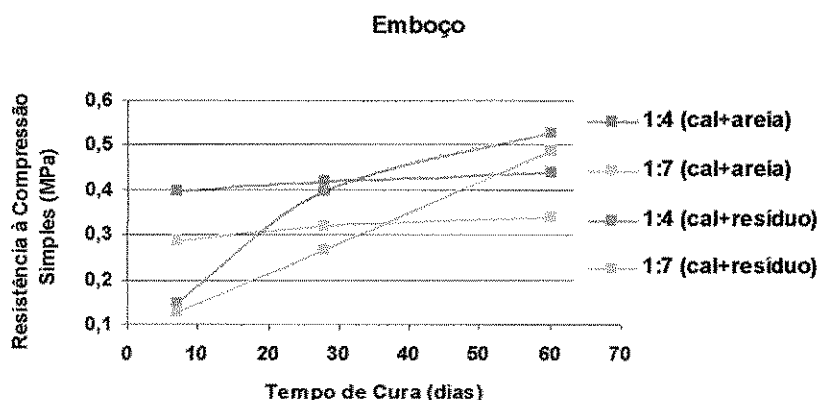
Analisando as curvas da Figura 4.11 para a resistência à compressão simples (RCS), verifica-se que o assentamento de tijolos (cal+resíduo) elevou o comportamento mecânico, sendo os melhores resultados para o traço 1:5 com

tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o assentamento de tijolos aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento o valor de 1,34 MPa no traço 1:6 (cal+areia) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Emboço (cal + areia, cal + resíduo)

A Tabela 4.20 (Anexo) e a Figura 4.12 apresentam os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.12 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura**

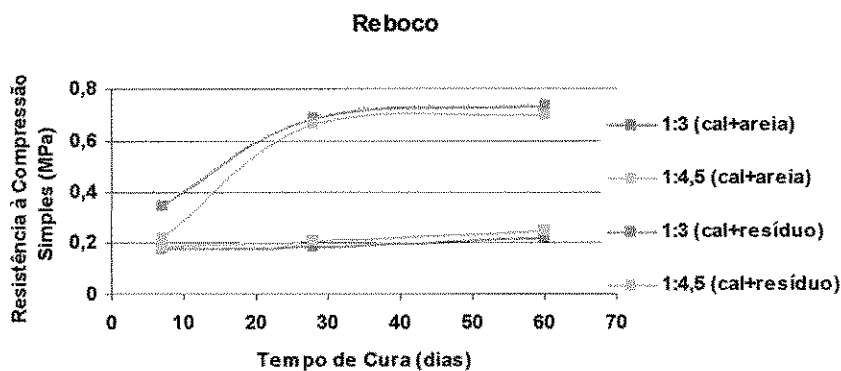
Analisando as curvas da Figura 4.12 para a resistência à compressão simples (RCS), verifica-se que o emboço (cal+resíduo) elevou o comportamento mecânico, sendo os melhores resultados para o traço 1:4 com tempo de cura de 60 dias.

Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o emboço aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento o valor de 1,41 MPa no traço 1:7 (cal+areia) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Reboco (cal + areia, cal + resíduo)

A Tabela 4.21 (Anexo) e a Figura 4.13 apresentam os valores da resistência à compressão simples (RCS) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.13 – Resistência à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura**

Analisando as curvas da Figura 4.13 para a resistência à compressão simples (RCS), verifica-se que o reboco (cal+resíduo) elevou o comportamento mecânico, sendo os melhores resultados para o traço 1:3 com tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do

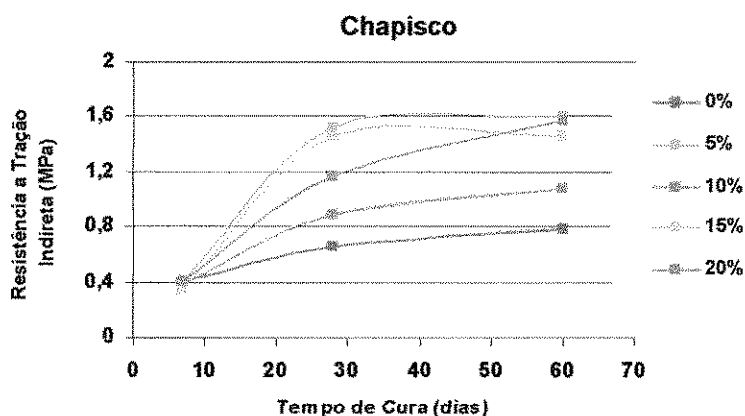
resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o reboco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento o valor de 1,09 MPa no traço 1:4,5 (cal+areia) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### 4.2.2.2 Resistência à tração indireta (RTI)

##### - Chapisco

A Tabela 4.22 (Anexo) e a Figura 4.14 apresentam os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa alternativa chapisco com traço 1:2:3 (cimento:cal:areia grossa) incorporada com resíduo de caulim para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.14 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa chapisco (traço 1:2:3) em função do tempo de cura**

Analisando as curvas da Figura 4.14 para a resistência à tração indireta (RTI), verifica-se que a incorporação de resíduo no traço 1:2:3 para o chapisco elevou o

comportamento mecânico para todas as porcentagens em relação as convencionais, sendo os melhores resultados para as argamassas incorporadas com 5% de resíduo e tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o chapisco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento (Anexo) o valor de 0,79 MPa (10% resíduo) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Assentamento de tijolos

A Tabela 4.23 (Anexo) e a Figura 4.15 apresentam os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa alternativa assentamento de tijolos com traço 1:4:28 (cimento:cal:areia média) incorporada com resíduo de caulim para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

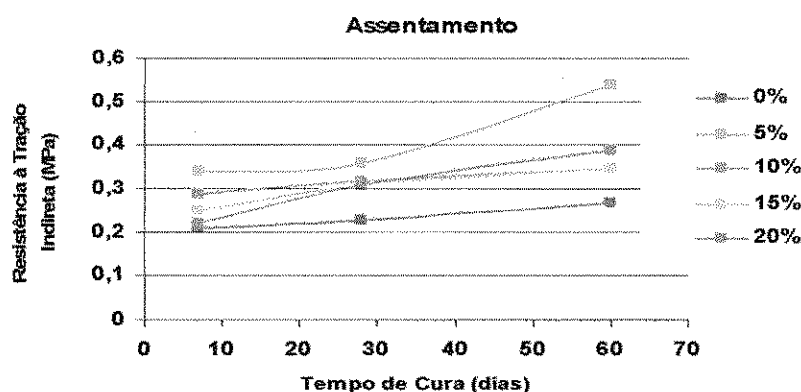


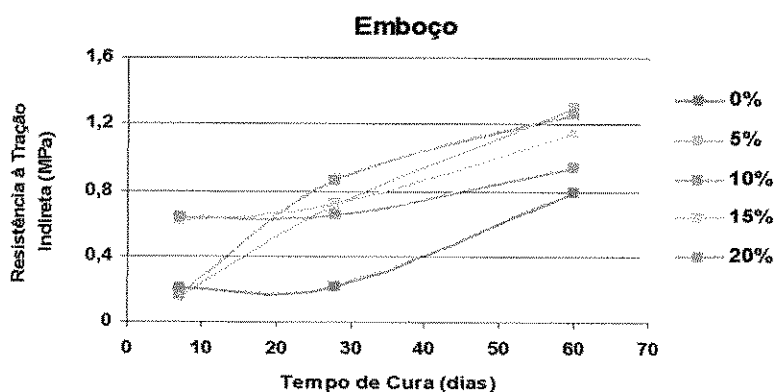
Figura 4.15 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (traço 1:4:28) em função do tempo de cura

Analisando as curvas da Figura 4.15 para a resistência à tração indireta (RTI), verifica-se que a incorporação de resíduo no traço 1:4:28 para o assentamento de tijolos elevou o comportamento mecânico para todas as porcentagens em relação as convencionais, sendo os melhores resultados para as argamassas incorporadas com 5% de resíduo e tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o assentamento de tijolos aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento (Anexo) o valor de 1,18 MPa (20% resíduo) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Emboço

A Tabela 4.24 (Anexo) e a Figura 4.16 apresentam os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa alternativa emboço com traço 1:2:11 (cimento:cal:areia média) incorporada com resíduo de caulim para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.16 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa emboço (traço 1:2:11) em função do tempo de cura**

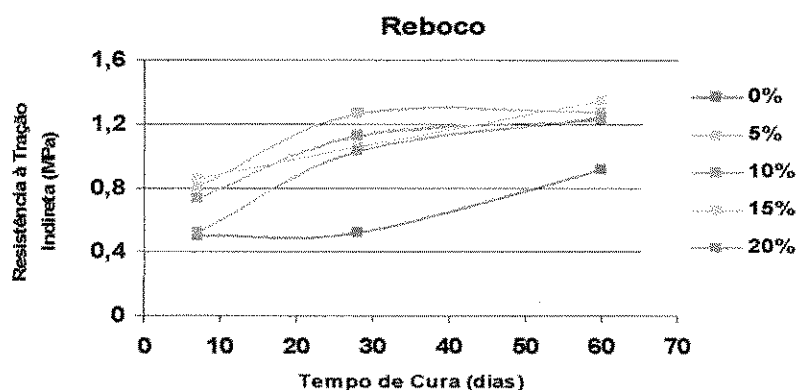


Analisando as curvas da Figura 4.16 para a resistência à tração indireta (RTI), verifica-se que a incorporação de resíduo no traço 1:2:11 para o emboço elevou o comportamento mecânico para todas as porcentagens em relação as convencionais, sendo os melhores resultados para as argamassas incorporadas com 5% de resíduo e tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o emboço aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento (Anexo) o valor de 0,87 MPa (20% resíduo) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Reboco

A Tabela 4.25 (Anexo) e a Figura 4.17 apresentam os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa alternativa reboco com traço 1:2:9 (cimento:cal:areia fina) incorporada com resíduo de caulim para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



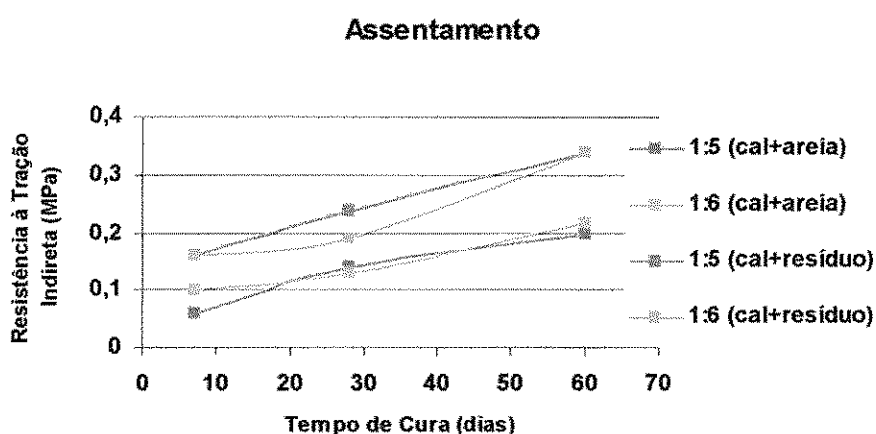
**Figura 4.17 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa reboco (traço 1:2:9) em função do tempo de cura**

Analisando as curvas da Figura 4.17 para a resistência à tração indireta (RTI), verifica-se que a incorporação de resíduo no traço 1:2:9 para o reboco elevou o comportamento mecânico para todas as porcentagens em relação as convencionais, sendo os melhores resultados para as argamassas incorporadas com 15% de resíduo e tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o reboco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento (Anexo) o valor de 0,83 MPa (20% resíduo) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Assentamento de tijolos (cal + areia, cal + resíduo)

A Tabela 4.26 (Anexo) e a Figura 4.18 apresentam os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



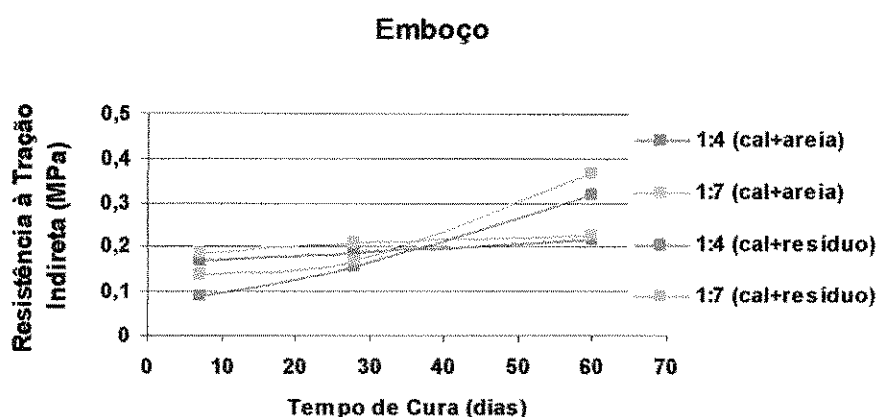
**Figura 4.18 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura**

Analisando as curvas da Figura 4.18 para a resistência à tração indireta (RTI), verifica-se que o assentamento de tijolos (cal+resíduo) elevou o comportamento mecânico, sendo os melhores resultados para o traço 1:5 com tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o assentamento de tijolos aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento o valor de 1,34 MPa no traço 1:6 (cal+areia) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Emboço (cal + areia, cal + resíduo)

A Tabela 4.27 (Anexo) e a Figura 4.19 apresentam os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.



**Figura 4.19 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura**

Analisando as curvas da Figura 4.19 para a resistência à tração indireta (RTI), verifica-se que o emboço (cal+resíduo) elevou o comportamento mecânico, sendo os melhores resultados para o traço 1:7 com tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o emboço aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento o valor de 1,41 MPa no traço 1:7 (cal+areia) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

#### - Reboco (cal + areia, cal + resíduo)

A Tabela 4.28 (Anexo) e a Figura 4.20 apresentam os valores da resistência à tração indireta (RTI) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura.

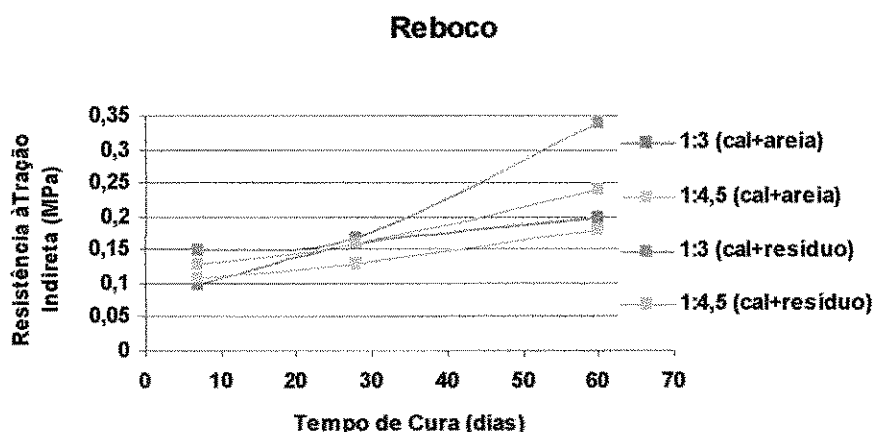


Figura 4.20 – Resistência à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) em função do tempo de cura

Analisando as curvas da Figura 4.20 para a resistência à tração indireta (RTI), verifica-se que o reboco (cal+resíduo) elevou o comportamento mecânico, sendo os melhores resultados para o traço 1:3 com tempo de cura de 60 dias. Esse acréscimo poderá ser atribuído provavelmente à atividade pozolânica do resíduo, em virtude do seu comportamento mecânico ser superior ao convencional.

Observa-se também que os valores médios das argamassas alternativas para o reboco aumentam consideravelmente à medida que submetidos a período de cura maior. Verifica-se que em relação ao fator água/cimento o valor de 1,09 MPa no traço 1:4,5 (cal+areia) foi o que apresentou maior comportamento mecânico. Comparando esses valores com as especificações da ABNT NBR – 13281 (1995), que especifica os limites da resistência ( $f_c \geq 0,10$  e  $< 4,0$  MPa), verifica que os valores se encontram dentro das especificações.

## **CAPÍTULO 05**

### **5.0 CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

#### **5.1 Conclusões**

Foram estudados vários traços de argamassas convencionais e alternativas incorporadas com resíduo de caulim proveniente do estado da Paraíba, visando sua aplicação na construção civil nos seguintes usos: chapisco, assentamento de tijolos, emboço e reboco, chegando-se as seguintes conclusões:

##### **5.1.1 Ensaio de caracterização**

- Os agregados convencionais apresentam distribuição granulométrica adequada para uso em argamassa.
- O resíduo de caulim estudado apresenta na sua composição química elevados teores de sílica e alumina, indicando provavelmente atividade pozolânica.
- Através dos difratogramas de raios-X foram indicados as seguintes fases: caulinita, quartzo e mica.

##### **5.1.2 Ensaio tecnológico**

###### **5.1.2.1 Chapisco**

- Os valores do comportamento mecânico (resistência à compressão simples e resistência à tração indireta) se encontram dentro do intervalo proposto pelas normas da ABNT NBR 13281 (1985).
- A incorporação de resíduo no traço alternativo aumentou o comportamento mecânico em relação aos traços convencionais.
- O melhor resultado, traço 1:2:3, foi com a incorporação de 20% de resíduo para a resistência à compressão simples e 5% de resíduo para a resistência à tração indireta.

#### **5.1.2.2 Assentamento de tijolos**

- Os valores do comportamento mecânico (resistência à compressão simples e resistência à tração indireta) se encontram dentro do intervalo proposto pelas normas da ABNT NBR 13281 (1985).
- A incorporação de resíduo no traço alternativo aumentou o comportamento mecânico em relação aos traços convencionais.
- O melhor resultado, traço 1:4:28, foi com a incorporação de 5% de resíduo (resistência à compressão simples e resistência à tração indireta). Utilizando apenas cal + resíduo o melhor resultado foi para o traço 1:5 (resistência à compressão simples e resistência à tração indireta), e utilizando cal + areia, o melhor resultado foi obtido no traço 1:6 (resistência à compressão simples e resistência à tração indireta).

#### **5.1.2.3 Emboço**

- Os valores do comportamento mecânico (resistência à compressão simples e

resistência à tração indireta) se encontram dentro do intervalo proposto pelas normas da ABNT NBR 13281 (1985).

- A incorporação de resíduo no traço alternativo aumentou o comportamento mecânico em relação aos traços convencionais.

- O melhor resultado, traço 1:2:11, foi com a incorporação de 5% de resíduo (resistência à compressão simples e resistência à tração indireta). Utilizando apenas cal + resíduo o melhor resultado foi para o traço 1:4 (resistência a compressão simples) e traço 1:7 (resistência a tração indireta), e utilizando cal + areia, o melhor resultado foi obtido no traço 1:4 (resistência a compressão simples) e traço 1:7 (resistência a tração indireta).

#### **5.1.2.4 Reboco**

- Os valores do comportamento mecânico (resistência à compressão simples e resistência à tração indireta) se encontram dentro do intervalo proposto pelas normas da ABNT NBR 13281 (1985).

- A incorporação de resíduo no traço alternativo aumentou o comportamento mecânico em relação aos traços convencionais.

- O melhor resultado, traço 1:2:9, foi com a incorporação de 0% de resíduo (resistência à compressão simples) e 15% de resíduo (resistência à tração indireta). Utilizando apenas cal + resíduo o melhor resultado foi para o traço 1:3 (resistência à compressão simples e resistência à tração indireta), e utilizando cal + areia, o melhor resultado foi obtido no traço 1:4,5 (resistência a compressão simples) e traço 1:3 (resistência a tração indireta).



## **5.2 Conclusão final**

O que este trabalho se propôs como tarefa foi realizar um estudo com resíduo de caulim para aplicação em argamassas alternativas, possibilitando o seu uso na construção civil. Esta argamassa poderá ser utilizada em chapisco, assentamento de tijolos, emboço e reboco, em construções.

Estes usos alternativos, além de ser uma contribuição para redução de custos pelo uso de resíduo, também representam uma solução adequada do ponto de vista ambiental por possibilitar a utilização desse resíduo, que apresenta um elevado potencial de poluição, principalmente em área onde o beneficiamento de caulim é efetuado em grande escala.

### 5.3 Sugestões para futuras pesquisas

- Realizar pesquisa junto às empresas mineradoras e beneficiadoras de caulim no estado da Paraíba, para avaliar a produção mensal de resíduos de caulim gerados por estas empresas;
- Estudar o impacto ambiental desses resíduos, junto às empresas de mineração;
- Realizar estudos para verificar a viabilidade técnica e econômica de um percentual maior de incorporação do resíduo de caulim para os traços utilizados nesta pesquisa, com 30%, 40% e 50% de incorporação;
- Estudar sobre a degradação das argamassas alternativas incorporadas com resíduo de caulim;
- Realizar um estudo detalhado para verificar a atividade pozolânica das argamassas alternativas incorporadas com resíduos de caulim;
- Aprimorar o estudo sobre a influência do fator água/cimento em argamassas alternativas;
- Realizar estudos sobre retrações e conseqüentemente fissuramentos das argamassas.

## CAPÍTULO 06

### 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Determinação da Massa Específica Real – Método de Ensaio, **NBR 6474/84**.

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Cal Hidratada para Argamassas, **NBR 7175/92**.

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Agregado em Estado Solto – Peneiramento e Sedimentação – Método de Ensaio, **NBR 7181/84**.

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Blocos Vazados de Concreto Simples - Determinação da Resistência à Compressão, **NBR 7184/91**.

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Revestimento de Paredes e Tetos com Argamassas – Materiais, Preparo, Aplicação e Manutenção - Procedimento, **NBR 7200/82**.

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Agregado para Concreto - Especificação, **NBR 7211/83**.

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Análise Granulométrica por Determinação da Massa Unitária – Método de Ensaio, **NBR 7215/82**.

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Agregados – Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis, **NBR 7218/87**.

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Agregados – Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos, NBR 7219/83.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Agregados em Estado Compactado Seco – Determinação da Massa Unitária, NBR 7219/87.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Cimento Portland e Outros Materiais em Pó – Determinação da Área Específica – Método de Ensaio, NBR 7224/84.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Agregado em Estado Solto – Determinação da Massa Unitária, NBR 7251/82.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Agregado em Estado Solto Compactado Seco – Determinação da Massa Unitária - NBR 7810/83.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Método de Ensaio para Determinação da Massa Específica do Agregado Miúdo - Frasco de Chapman, NBR 9776/87.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Resíduos Sólidos, NBR 10004/87.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Solubilização de Resíduos, NBR 10006/87.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Cimento Portland Composto – Especificações, NBR 11578/91.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Finura de Resíduos na Peneira 0,075 mm, NBR 11579/91.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas, Tempo de Pega: Início e Fim, NBR 11581/91.**

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Argamassa para Assentamento e Revestimento de Paredes e Tetos – Determinação da Resistência à Compressão, **NBR 13279/95**.

**Associação Brasileira de Normas Técnicas**, Argamassa Industrializada para Assentamento de Paredes e Revestimento de Paredes e Tetos, **NBR 13281/95**.

**Amorim, L. V.** Influencia da Área Específica na Reatividade do Sistema Pozolana-Cal Visando a Obtenção de Aglomerantes Alternativos, Dissertação de Mestrado, Campina Grande – PB.

**Araújo, E. S.** Aproveitamento dos Resíduos da Construção Civil para uso como Aglomerante Pozolânico em Argamassas, Relatório de PIBIC/CNPq, Campina Grande - PB

**Araújo, E. S.** Utilização dos Resíduos da Serragem de Granitos na Produção de Tijolos Sílica-cal para uso em Construção Civil, Dissertação de Mestrado, Campina Grande – PB.

**Azeredo, H. A.** O Edifício e seu Acabamento, São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, 1987.

**Bauer, R. J. F.** Falhas em Revestimento, Anais do Encontro "Argamassas Industrializadas – Usos e Desempenho", São Paulo, 1993.

**Bogue, R. H.**, The Chemistry of Portland Cement, New York, Reinhold, 1947.

**Brasileiro, M. I.** Obtenção de Mulita a partir do Resíduo do Caulim, Dissertação de Mestrado, Campina Grande – PB.

**Cincotto, M. A.** Estudo das Cales Hidratadas Comercializadas em Diversos Estados Brasileiros, Associação Brasileira dos Produtores de Cal, São Paulo, 1980.

**Cincotto, M. A.** Propriedades das Argamassas Cimento:Cal:Areia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A (IPT), 1985.

**Farias, C. E. G.** Mineração e Meio Ambiente no Brasil, Outubro 2002.

**Flores, S. M. P. e Neves, R. F.** Alumina para Utilização Cerâmica, Obtida a partir do Rejeito de Beneficiamento de Caulim. Universidade Federal do Pará, Belém – PA.

**GRI.** Glass Packaging Institute Solid Wast & Recycling Policy. [http| www.gpi.org.swp2.htm](http://www.gpi.org.swp2.htm). Acesso em: 21 de Janeiro de 2005.

**Grim, R. E.** Clay Mineralogy, New York. Macgraw-Hill, 1958.

**GRN.** Glossary of Recycling terms. [http| www.gm.com/libra/gloss-t.htm](http://www.gm.com/libra/gloss-t.htm). Acesso em: 21 de Janeiro de 2005.

**Guimarães, J. E. P. e Cincotto, M. A.** Cal nas Construções Civas – Na Patologia das Argamassas, Associação Brasileira dos Produtores de Cal, 1985.

**John, V. M.** Reciclagem de Resíduos na Construção Civil, Contribuição à Metodologia de Pesquisa e Desenvolvimento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

**Kiyohara, P. K.** Estudos Ópticos Eletrônicos e Tecnológicos de Caulins Brasileiros Visando a sua Utilização na Indústria de Papel. Dissertação – Escola Politécnica – USP, São Paulo, 1984.

**Lébeis, V. D. L.** Viabilidade do uso do Resíduo da Fabricação do Papel em Argamassas, Dissertação de Mestrado, Unicamp, Campinas – SP.

**Levy, S. M.** Reciclagem do Entulho na Construção Civil, para Utilização como Agregado de Argamassa e Concreto. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado, 1997.

**Lima, M. S.** Utilização do Resíduo de Caulim para uso em Blocos de Concreto sem Função Estrutural. Dissertação de Mestrado, UFCG, 2005.

**Lima, F. T., Gomes, J., Lira, H. L.** Utilização do Resíduo Industrial Resultante do Beneficiamento de Caulim para Fabricação de Revestimentos Cerâmicos, CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, Anais. Associação Brasileira de Cerâmica, Florianópolis – SC, 2001.

**Mota, N. M. B.** Cais Pozolânicas para uso em Argamassas de Revestimento e Alvenarias, Dissertação de Mestrado, Campina Grande – PB.

**Müller, M. S. K.** Argamassas Industrializadas para Revestimento de Superfícies e Assentamento de Alvenaria, Anais do Encontro “Argamassas Industrializadas – Usos e Desempenho”, São Paulo, 1993.

**Neves, G. A.** Reciclagem de Resíduos da Serragem de Granitos para uso como Matéria-prima Cerâmica. Universidade Federal de Campina Grande. Tese de Doutorado, 2002.

**Oliveira, D. F.** Contribuição ao Estudo da Durabilidade de Blocos de Concreto Produzidos com a Utilização de Entulho da Construção Civil. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, 2004.

**Pinto, T. P.,** De volta a Questão do Desperdício, A Construção - São Paulo, 1995.

Revista Brasileira de Geociências, Geologia e Gênese de Caulim Floresta e Cambuí (Formação Campo Alegre – SC).

**Ribeiro, F. R.** Caracterização Química e Avaliação do Potencial de Aproveitamento do Resíduo Sólido Proveniente do Beneficiamento do Minério do Caulim, Departamento de Solos, UFV.

**Rilem** – Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions, 1982.

**Selmo, S. M. S.** Dosagem de Argamassas de Cimento Portland e Cal para Revestimentos Externos de Fachadas de Edifícios, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia da UFRGS, 1989.

**Silva, C. A., Vidal, M., Pereira, M. G.** Impactos Ambientais Causados pela Mineração e Beneficiamento de Caulim, Revista Escola de Minas, Volume 54, Numero 2, Ouro Preto – MG.

**Silva, S. P.** Geologia do Caulim, Belém: DNPM 5º DS/DNPM, 1993.

**Sousa Santos, P.** Ciência e Tecnologia de Argila, São Paulo, 1989.

**Shreve, R. N.** Indústria de Processos Químicos, Rio de Janeiro, Guanabara, 1980.

**Silva, S. P.** Caulim, Balanço Mineral Brasileiro, 2001. Disponível em: [www.dnpp.gov.br](http://www.dnpp.gov.br). Acesso em: 01/02/2005.



## ANEXOS

**Tabela 01 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa chapisco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Chapisco 5%resíd.	1:2:3	cim:cal:resíduo: areia grossa	0,76	1,58 ± 0,10	2,60 ± 0,05	2,71 ± 0,13
Chapisco 10%resíd.	1:2:3	cim:cal:resíduo: areia grossa	0,79	1,44 ± 0,02	2,21 ± 0,06	2,35 ± 0,10
Chapisco 15%resíd.	1:2:3	cim:cal:resíduo: areia grossa	0,77	1,80 ± 0,04	2,16 ± 0,07	2,77 ± 0,11
Chapisco 20%resíd.	1:2:3	cim:cal:resíduo: areia grossa	0,75	1,70 ± 0,03	2,32 ± 0,07	2,82 ± 0,10

**Tabela 02 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Assentam. 5%resíd.	1:4:28	cim:cal:resíduo: areia média	1,17	0,69 ± 0,02	0,71 ± 0,04	0,95 ± 0,11
Assentam. 10%resíd.	1:4:28	cim:cal:resíduo: areia média	1,17	0,29 ± 0,03	0,60 ± 0,02	0,87 ± 0,05
Assentam. 15%resíd.	1:4:28	cim:cal:resíduo: areia média	1,14	0,60 ± 0,02	0,61 ± 0,03	0,82 ± 0,30
Assentam. 20%resíd.	1:4:28	cim:cal:resíduo: areia média	1,18	0,38 ± 0,01	0,54 ± 0,02	0,70 ± 0,03

**Tabela 03 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa emboço para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Emboço 5%resíd.	1:2:11	cim:cal:resíduo: areia média	0,86	1,43 ± 0,12	2,18 ± 0,09	2,86 ± 0,12
Emboço 10%resíd.	1:2:11	cim:cal:resíduo: areia média	0,85	1,30 ± 0,09	2,03 ± 0,11	2,74 ± 0,12
Emboço 15%resíd.	1:2:11	cim:cal:resíduo: areia média	0,87	1,59 ± 0,08	1,60 ± 0,09	2,31 ± 0,16
Emboço 20%resíd.	1:2:11	cim:cal:resíduo: areia média	0,87	1,40 ± 0,06	1,57 ± 0,16	1,91 ± 0,15

**Tabela 04 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa reboco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Reboco 5%resíd.	1:2:9	cim:cal:resíduo: areia fina	0,79	1,52 ± 0,14	2,20 ± 0,14	2,24 ± 0,12
Reboco 10%resíd.	1:2:9	cim:cal:resíduo: areia fina	0,81	1,18 ± 0,10	2,00 ± 0,10	2,31 ± 0,11
Reboco 15%resíd.	1:2:9	cim:cal:resíduo: areia fina	0,79	1,38 ± 0,18	1,87 ± 0,14	1,94 ± 0,15
Reboco 20%resíd.	1:2:9	cim:cal:resíduo: areia fina	0,83	1,32 ± 0,10	1,91 ± 0,14	2,06 ± 0,20

**Tabela 05 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Assentam. tijolos	1:5	cal:resíduo	0,50	0,12 ± 0,05	0,54 ± 0,08	0,71 ± 0,05
Assentam. tijolos	1:6	cal:resíduo	0,50	0,11 ± 0,10	0,59 ± 0,11	0,60 ± 0,07

**Tabela 06 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Emboço	1:4	cal:resíduo	0,49	0,12 ± 0,02	0,40 ± 0,05	0,53 ± 0,03
Emboço	1:7	cal:resíduo	0,49	0,13 ± 0,01	0,27 ± 0,05	0,49 ± 0,03

**Tabela 07 – Média das resistências à compressão simples (MPa) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à compressão simples (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Reboco	1:3	cal:resíduo	0,52	0,35 ± 0,02	0,69 ± 0,03	0,74 ± 0,06
Reboco	1:4,5	cal:resíduo	0,52	0,22 ± 0,06	0,67 ± 0,03	0,70 ± 0,03

**Tabela 08 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa chapisco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à tração indireta (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Chapisco 5%resíd.	1:2:3	cim:cal:resíduo: areia grossa	0,76	0,41 ± 0,03	1,53 ± 0,08	1,61 ± 0,14
Chapisco 10%resíd.	1:2:3	cim:cal:resíduo: areia grossa	0,79	0,38 ± 0,06	0,89 ± 0,01	1,08 ± 0,07
Chapisco 15%resíd.	1:2:3	cim:cal:resíduo: areia grossa	0,77	0,35 ± 0,05	1,46 ± 0,09	1,47 ± 0,14
Chapisco 20%resíd.	1:2:3	cim:cal:resíduo: areia grossa	0,75	0,41 ± 0,04	1,17 ± 0,06	1,58 ± 0,10

**Tabela 09 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à tração indireta (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Assentam. 5%resíd.	1:4:28	cim:cal:resíduo: areia média	1,17	0,34 ± 0,04	0,36 ± 0,02	0,54 ± 0,04
Assentam. 10%resíd.	1:4:28	cim:cal:resíduo: areia média	1,17	0,29 ± 0,01	0,32 ± 0,02	0,35 ± 0,02
Assentam. 15%resíd.	1:4:28	cim:cal:resíduo: areia média	1,14	0,25 ± 0,02	0,31 ± 0,02	0,35 ± 0,02
Assentam. 20%resíd.	1:4:28	cim:cal:resíduo: areia média	1,18	0,22 ± 0,01	0,31 ± 0,02	0,39 ± 0,03

**Tabela 10 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa emboço para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à tração indireta (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Emboço 5%resíd.	1:2:11	cim:cal:resíduo: areia média	0,86	0,16 ± 0,02	0,72 ± 0,09	1,30 ± 0,12
Emboço 10%resíd.	1:2:11	cim:cal:resíduo: areia média	0,85	0,17 ± 0,07	0,86 ± 0,08	1,26 ± 0,04
Emboço 15%resíd.	1:2:11	cim:cal:resíduo: areia média	0,87	0,62 ± 0,09	0,73 ± 0,04	1,15 ± 0,04
Emboço 20%resíd.	1:2:11	cim:cal:resíduo: areia média	0,87	0,64 ± 0,07	0,66 ± 0,04	0,94 ± 0,12

**Tabela 11 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa reboco para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	Resistência à tração indireta (MPa)			
			$f_{a/c}$	Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Reboco 5%resíd.	1:2:9	cim:cal:resíduo: areia fina	0,79	0,81 ± 0,08	1,27 ± 0,03	1,28 ± 0,03
Reboco 10%resíd.	1:2:9	cim:cal:resíduo: areia fina	0,81	0,74 ± 0,01	1,13 ± 0,06	1,23 ± 0,11
Reboco 15%resíd.	1:2:9	cim:cal:resíduo: areia fina	0,79	0,86 ± 0,09	1,07 ± 0,09	1,35 ± 0,05
Reboco 20%resíd.	1:2:9	cim:cal:resíduo: areia fina	0,83	0,52 ± 0,07	1,04 ± 0,11	1,25 ± 0,11

**Tabela 12 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa assentamento de tijolos (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	$f_{a/c}$	Resistência à tração indireta (MPa)		
				Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Assentam. tijolos	1:5	cal:resíduo	0,50	0,16 ± 0,03	0,24 ± 0,02	0,34 ± 0,02
Assentam. tijolos	1:6	cal:resíduo	0,50	0,16 ± 0,10	0,79 ± 0,11	0,84 ± 0,07

**Tabela 13 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa emboço (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	$f_{a/c}$	Resistência à tração indireta (MPa)		
				Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Emboço	1:4	cal:resíduo	0,49	0,09 ± 0,02	0,16 ± 0,02	0,32 ± 0,03
Emboço	1:7	cal:resíduo	0,49	0,14 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,34 ± 0,02

**Tabela 14 – Média das resistências à tração indireta (MPa) da argamassa alternativa reboco (cal+areia e cal+resíduo) para os períodos de 7, 28 e 60 dias de cura**

ARGAMASSA ALTERNATIVA						
Tipo de argamassa	Traços em volume	Materiais	$f_{a/c}$	Resistência à tração indireta (MPa)		
				Tempos de cura (dias)		
				7	28	60
Reboco	1:3	cal:resíduo	0,52	0,15 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,34 ± 0,05
Reboco	1:4,5	cal:resíduo	0,52	0,13 ± 0,02	0,16 ± 0,04	0,24 ± 0,03

OBS.:

Cal – Cal hidratada

Cim – Cimento Portland

Assentam. – Assentamento de tijolos

Resid. – Resíduo de caulim