

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE UTILIZAÇÃO EM ARGAMASSAS DO RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO ORIUNDO DO PRÓPRIO CANTEIRO DE OBRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de Concentração: Construção Civil

Orientador: Prof. Dr. Antônio Neves de
Carvalho de Júnior

Co-Orientador: Prof^a. Dr^a. Adriana Guerra Gumieri

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DE
UTILIZAÇÃO EM ARGAMASSAS DO RESÍDUO DE
CONSTRUÇÃO ORIUNDO DO PRÓPRIO CANTEIRO DE OBRA

José Silva Lapa

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Comissão examinadora:

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
DEMC/UFMG – (Orientador)

Prof^a. Dr^a. Adriana Guerra Gumieri
DEMC/UFMG – (Co-orientadora)

Prof^a. Dr^a. Carmen Couto Ribeiro
DEMC/UFMG

Prof. Dr. Pedro de Kopschitz Xavier Bastos
DEP CCI/UFJF

Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2011.

L299e Lapa, José Silva.
Estudo de viabilidade técnica de utilização em argamassas do resíduo de construção oriundo do próprio canteiro de obra [manuscrito] / José Silva Lapa – 2011.
xv, 132 f., enc.: il.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior.
Co-orientadora: Adriana Guerra Gumieri.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f.116-132

1. Construção civil – Teses. 2. Argamassa – Teses. 3. Reciclagem – Indústria – Teses. 4. Revestimentos – Teses. I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Gumieri, Adriana Guerra. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 666.97 (043)

*Deus,
a Beth e Josy.*

Agradecimentos

A Deus, criador e sustentador da vida, por sua imensa graça com a qual me tem sustentado ao longo dos anos.

Ao Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior e a Prof^a. Dr^a. Adriana Guerra Gumieri que tornaram plano o caminho da orientação, dando-me segurança, que minimizou os tropeços tão comuns nas pedras que a cientificidade nos impõe, e tornaram frutíferas nossas amizades.

À Prof^a. Dr^a. Carmen Couto Ribeiro, pelo estímulo, pela amizade e pela constante ajuda em meus estudos de pós-graduação.

À PHV Engenharia, na pessoa do Diretor Paulo Henrique Pinheiro de Vasconcelos e a engenheira Ana Paula Amorim, pela atenção e pelo apoio incondicional desde sempre.

Ao Prof. Dr. Paulo Roberto Gomes Brandão e os laboratoristas dos Departamentos de Engenharia de Minas da UFMG pela boa vontade em auxiliarme na execução dos ensaios desta dissertação.

Aos laboratoristas Ricardo Antônio Barbosa, Antônio Carlos Machado, pela boa vontade e disposição na extração, no preparo das amostras e na realização dos testes.

Aos meus colegas do curso de Mestrado, que compartilharam comigo as dificuldades e alegrias desta empreitada.

Aos meus pais e irmãos e a toda minha família, tanto imediata quanto extensiva, que desde o início me oferecem uma dose inesgotável de estímulo para prosseguir sempre, sem esmorecer.

À minha esposa, Beth e minha filha, Josy, suportes incondicionais em todos os momentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	XII
LISTA DE UNIDADES.....	XIII
RESUMO.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
1. INTRODUÇÃO.....	16
2. OBJETIVOS.....	19
3. JUSTIFICATIVA.....	20
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1. BREVE HISTÓRICO.....	21
4.2. DESPERDÍCIOS DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	23
4.3. REDE DE USINAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM BELO HORIZONTE.....	27
4.4. DEFINIÇÃO, CARACTERIZAÇÃO, ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DO RCC	34
4.5. ALGUMAS PESQUISAS BRASILEIRAS UTILIZANDO RCC NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS.....	13 38
4.6. COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO.....	41
4.7. REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....	45
4.7.1. Funções do Revestimento de Argamassa.....	45
4.7.2. Propriedades da Argamassa no Estado Fresco.....	46
4.7.2.1. Massa específica e teor de ar incorporado.....	46
4.7.2.2. Trabalhabilidade.....	46
4.7.2.3. Retenção de água.....	49
4.7.2.4. Aderência inicial.....	49
4.7.2.5. Retração na secagem.....	50
4.7.3. Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido.....	50
4.7.3.1. Aderência	50
4.7.3.2. Capacidade de absorver deformações.....	51
4.7.3.3. Resistência mecânica.....	52
4.7.3.4. Permeabilidade.....	53

4.7.3.5. Durabilidade.....	54
4.7.4. Classificação e Caracterização do Revestimento de Argamassa..	55
4.7.5. Características das Bases de Aplicação do Revestimento.....	55
4.8. GESTÃO NO CANTEIRO DE OBRAS.....	56
4.8.1. Organização do Canteiro.....	57
4.8.1.1. Acondicionamento adequado dos materiais.....	57
4.8.1.2. A organização do canteiro e suas vantagens.....	58
4.8.2. Planejar a Disposição dos Resíduos.....	58
5. METODOLOGIA.....	63
5.1. EDIFÍCIO JÚLIO VICENTE DA CRUZ – ESTUDO DE CASO.....	63
5.1.1. Características e Localização	64
5.1.2. Dados Coletados na Obra	66
5.2. MOINHO/ARGAMASSEIRA ANVI500.....	68
5.3. MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	70
5.3.1. Cimento <i>Portland</i> CP III 32 – RS.....	70
5.3.2. Cal.....	71
5.3.3. Água.....	71
5.3.4. Areia Natural.....	71
5.3.5. Resíduos da Construção Civil (RCC).....	71
5.4. COMPOSIÇÃO DOS TRAÇOS DE ARGAMASSA.....	73
5.4.1. Cominuição do RCC para Argamassas 3, 4 e 5	75
5.4.2. Caracterização Física.....	77
5.5. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO	
ESTADO FRESCO	78
5.5.1. Determinação do índice de consistência das argamassas.....	78
5.5.2. Retenção de água	78
5.5.3. Massa específica e ar incorporado.....	80
5.6. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO	
ESTADO ENDURECIDO.....	82
5.6.1. Moldagem dos CP's em laboratório	82
5.6.2. Confeção e Aplicação da Argamassa com RCC no	
Canteiro de Obras.....	83
5.6.2.1. Moldagem de CP's e aplicação da argamassa em parede	85
5.6.3. Cura dos CP's	86

5.6.4. Capeamento dos CP's.....	86
5.6.5. Resistência à Compressão Axial	87
5.6.7. Ensaio de Caracterização da Argamassa Aplicada Sobre a Base	88
5.6.7.1. Resistência de aderência à tração determinada através do ensaio de arrancamento.....	88
5.6.7.2. Permeabilidade à água.....	90
5.6.7.3. Caracterização da massa específica Componentes da Argamassa Traço 2	90
5.6.8. Caracterização Mineralógica dos Componentes da Argamassa 2.....	92
5.6.8.1. Moagem e peneiramento.....	92
5.6.8.2. Difração de raios-X (DRX)	93
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	94
6.1. COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS.....	94
6.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO PLÁSTICO.....	98
6.2.1. Consistência, Retenção de Água, Massa Específica e Teor de Ar Incorporado	98
6.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO	100
6.3.1. Resistência à Compressão Axial	100
6.3.3. Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa aplicada sobre a base.....	105
6.3.3.1. Resistência de aderência à tração da argamassa	105
6.3.3.2. Permeabilidade à água.....	108
6.4. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS COMPONENTES DA ARGAMASSA	110
6.5. AVALIAÇÃO DA FISSURAÇÃO.....	112
7. CONCLUSÕES.....	113
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Unidade de Reciclagem Pampulha.....	28
Figura 2 – Unidade de Reciclagem Estoril.....	28
Figura 3 – Unidade de Reciclagem BR 040.....	29
Figura 4 – Dispositivos utilizados em canteiro.....	59
Figura 5 – Vista do Ed. Júlio Vicente da Cruz pela Av. Raja Gabaglia.....	64
Figura 6 – Mapa de localização do Ed. Júlio Vicente da Cruz.....	65
Figura 7 – Vista do Ed. Júlio Vicente da Cruz pela rua Santa Maria do Salto com rua Cachoeira de Minas.....	66
Figura 8 – Moinho / argamassadeira ANVI500.....	68
Figura 9 – Composição do RCC.....	72
Figura 10 – Cominuição manual de RCC.	76
Figura 11 – Agregado miudo de RCC passante na peneira 2,4 mm.....	76
Figura 12 – Equipamento para ensaio de consistência.....	78
Figura 13 – Dispositivos necessários para determinação da retenção de água	78
Figura 14 – Equipamento utilizado no ensaio de ar incorporado	80
Figura 15 – Misturador mecânico.....	81
Figura 16 – Moldagem dos CP's no laboratório.....	82
Figura 17 – RCC sendo colocado no moinho/argamassadeira.....	83
Figura 18 – Cominuição do RCC pelo moinho/argamassadeira.....	84
Figura 19 – Argamassa confeccionada.....	84
Figura 20 – Moldagem dos CP's de argamassa (em obra)	85
Figura 21 – Aplicação e desempenada da argamassa 2.....	85
Figura 22 – CP's submetidos à cura final: (a) das argamassas 1, 3 e 5; (b) das argamassas 2 e 4.	86
Figura 23 – Capeamento dos CP's com mistura de enxofre.....	87
Figura 24 – Prensa EMIC PC200: (1) vista geral; (2) vista detalhada.....	88
Figura 25 – Loja onde o ensaio foi realizado: (1) Vista geral da Loja; (2) parede onde foi feito o arranchamento.....	89

Figura 26 – Sequência de colagem das pastilhas:	
(a) Cortes das superfícies dos CP's;	
(b) suportes para auxiliar na sustentação inicial das pastilhas;	
(c) colagem à base de resina epóxi é passada na pastilha;	
(d) pastilhas coladas.....	89
Figura 27 – Arrancamento de um CP com o equipamento de tração	
PROCEQ DYNA Z16.....	90
Figura 28 – Ensaio de Permeabilidade à água com cachimbo de vidro	91
Figura 29 – Frasco Chapman	91
Figura 30 – Moagem de uma amostra de material no moinho de disco	
Orbital TECNAL TE-360	92
Figura 31 - Difratômetro PHILIPS PW-3710	93
Figura 32 - Comparação entre as distribuições granulométrica da areia e	
do RCC	95
Figura 33 – Frações granulométricas da areia	97
Figura 34 - Frações granulométricas do RCC	97
Figura 35 - Vista dos CP's após rompimento	100
Figura 36 – Gráfico comparativo da média da resistência à	
compressão obtida para as argamassas.....	103
Figura 37 – Tipos de ruptura após ensaio de arrancamento.....	106
Figura 38 – Gráfico comparativo da resistência de aderência à tração	
obtida para cada CP	107
Figura 39 – Evolução da permeabilidade na argamassa	109
Figura 40 - Difratograma da amostra da argamassa 2	110
Figura 41 - Análise visual para detectar fissuras no revestimento	
com a argamassa 2	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Perda de materiais em processos construtivos convencionais, conforme pesquisa nacional em 12 estados e pesquisas anteriores.....	24
Tabela 2 – Taxas de desperdício de materiais.....	26
Tabela 3 – Quantidade de RSU e RCC computados pela SLU em Belo Horizonte no período 1995-2007.....	30
Tabela 4 – Quantidade de RCC encaminhado para disposição em aterro e reciclagem (t/ano).....	31
Tabela 5 – Quantidade de materiais produzidos com RCC reciclados (2005 – 2007).....	32
Tabela 6 – Quantidade de RCC reciclado em 2008 nas três usinas.....	32
Tabela 7 – Classificação dos RCC segundo a resolução 307/2002 – CONAMA.....	35
Tabela 8 – Geração de resíduos por etapa de uma obra de edifício residencial.....	36
Tabela 9 – Composição média dos resíduos de construção no município de São Carlos, em 1985.....	41
Tabela 10 – Composição do reciclado produzido em Ribeirão Preto, em setembro de 1996.....	42
Tabela 11 – Composição do agregado reciclado produzido na Central de Reciclagem de Ribeirão Preto.....	42
Tabela 12 – Composição de RCC em Guaratinguetá/SP.....	43
Tabela 13 – Limites de consistência segundo finalidade das argamassas..	48
Tabela 14 – Limites da resistência de aderência à tração.....	51
Tabela 15 – Resistência a compressão das argamassas.....	53
Tabela 16 – Resistência a aderência das argamassas.....	53
Tabela 17 – Características técnicas do moinho/argamassadeira.....	69
Tabela 18 – Teores dos componentes do cimento Portland de alto-forno....	70
Tabela 19 – Exigências físicas e mecânicas CP III 32.....	70
Tabela 20 – Exigências químicas CP III 32.....	71
Tabela 21 – Composição de traço.....	73

Tabela 22 - Valores dos traços em volume e em massa	75
Tabela 23 - Distribuições granulométricas da areia e do RCC	94
Tabela 24 - Características da areia natural e do RCC	96
Tabela 25 - Características das argamassas no estado fresco	98
Tabela 26 – Resistência à compressão no Traço 1:1:7 (cimento : cal: areia) com relação água/aglomerantes de 1,87 (argamassa 1).....	101
Tabela 27 – Resistência à compressão no traço 1: 4,5: 2,5 (cimento: RCC: areia) com relação água/aglomerantes de 1,87 (argamassa 2).....	101
Tabela 28 – Resistência à compressão no traço 1: 1: 4,5: 2,5 (cimento: cal: RCC: areia) com relação água/aglomerantes de 1,87 (argamassa 3).....	101
Tabela 29 – Resistência à Compressão no traço 1: 4,5: 2,5 (cimento: RCC: areia) com relação água/aglomerantes de 1,87 (argamassa 4).....	102
Tabela 30 – Resistência à compressão no traço 1: 7 (cimento: RCC) com relação água/aglomerantes de 2,24 (argamassa 5).....	102
Tabela 31 – Resumo da Resistência à compressão das argamassas.....	102
Tabela 32 - Resultados de resistência ao arrancamento por tração.....	105
Tabela 33 – Medidas de permeabilidade na argamassa 2.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABPC	Associação Brasileira dos Produtores de Cal
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CP	Corpo-de-prova
CTRS	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos
DEMC	Departamento de Engenharia de Materiais e Construção
DEMIN	Departamento de Engenharia de Minas
DRX	Difração de raios-X
ITQC	Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil
NBR	Norma Brasileira Registrada
Rc	Resistência à compressão
Ra	Resistência de aderência à tração
RCC	Resíduos de construção civil
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SLU	Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

LISTA DE UNIDADES

MPa	mega Pascal
N	Newton
tf	tonelada-força
W	Watts
µm	micrometro
#	mesh (malha de peneira)
∅	diâmetro

RESUMO

Esse trabalho avalia propriedades físicas e mecânicas de argamassas com substituições parciais e totais do agregado convencional por resíduos da construção civil (RCC) oriundos de uma construção em estrutura de concreto armado e paredes de blocos cerâmicos. As argamassas de revestimentos de paredes e tetos foram ensaiadas quanto ao desempenho mecânico à compressão e aderência. Resultados mostraram que misturas com inserção total ou parcial de agregados reciclados tiveram desempenho superior às convencionais usadas na obra. Em argamassa com substituição de 100% dos agregados naturais por reciclados os valores de resistência à compressão aumentaram 62,5%. Para argamassa confeccionada no canteiro de obras preparada utilizando-se o moinho/argamassadeira, com substituição de 64,3% dos agregados naturais por reciclados, os valores de resistência à compressão aumentaram 155%. Tomando-se a argamassa com agregados reciclados de melhor desempenho nas avaliações anteriores, os resultados obtidos nos testes de arrancamentos (um valor 0,29 MPa e todos os demais valores entre 0,56 a 0,83 MPa) mostraram que esta se apresenta totalmente adequada para revestimentos internos e externos destinados a receber pintura ou revestimentos cerâmicos e/ou rochas ornamentais.

Palavras-chave: Argamassa. Reciclagem. Revestimento.

ABSTRACT

This study evaluates physical and mechanical properties of mortars with partial and total replacement of conventional aggregate by waste (RCC) coming from a structured building in reinforced concrete and brick wall. Mortar linings of walls and ceilings were tested in compression and bond strength. Results showed that mixtures with total or partial inclusion of recycled aggregate outperformed the conventional ones used in the work. In mortar with 100% replacement of natural aggregates by recycled ones the compression resistance values increased 62.5%. In mortar made at the construction site prepared using the mill/mechanical mortar mixer, with 64.3% replacement of natural aggregates by recycled ones, the compression resistance values increased 155%. Taking the mortar with recycled aggregates which gave the best performance in previous assessments, the results obtained in pull-off tests (one value 0.29 MPa and all other values between 0.56 to 0.83 MPa) showed that it presents itself fully suitable for internal and external linings intended to receive paint or ceramic coatings and/or ornamental stones coatings.

Keywords: Mortar. Recycling. Coating.

1. INTRODUÇÃO

A Engenharia faz parte da vida cotidiana desde o início da existência humana. Considera-se que a Engenharia Civil teve seu início entre 4000 e 2000 a.C., no Egito e na Mesopotâmia. As Pirâmides de Gizé, no Egito (2700-2500 a.C.) podem ser consideradas as primeiras grandes construções, feitas à base de tijolos dispostos de modo a garantir a sustentação de toda a estrutura (CRUZ, 2005).

A Revolução Industrial teve um papel crucial no desenvolvimento da Engenharia Civil ao fomentar o desenvolvimento de novos materiais, bem como de novas fontes de energia. Foi nesta época que surgiram ferro, aço e concreto. Nos dias atuais, uma obra de construção civil envolve uma multiplicidade de tarefas, desde o seu início até ao seu final, o que a torna um processo bastante dinâmico.

Em termos econômicos e sociais, a construção civil é um setor com forte e constante desenvolvimento e com elevadas potencialidades empreendedoras, contribuindo grandemente para a dinamização da economia e influenciando diretamente uma série de outras atividades.

Considerando os aspectos ambientais, a construção civil implica na extração de recursos naturais e minerais, bem como o consumo de energia. Alguns destes recursos têm reservas escassas e outros, apesar de renováveis, requererem uma gestão adequada.

Mas as atividades da construção civil estão inevitavelmente associadas à geração de resíduos definidos pela Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 5 de julho de 2002, como resíduos de construção civil (RCC) que são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos.

Segundo o SINDUSCON-SP (2005), a construção civil é reconhecida como uma das mais importantes atividades para o desenvolvimento econômico e social, e, por outro lado, comporta-se, ainda, como grande geradora de impactos

ambientais, quer seja pelo consumo de recursos naturais, pela modificação da paisagem ou pela geração de resíduos.

Uma alternativa para conciliar uma atividade desta magnitude, com as condições que conduzam a um desenvolvimento sustentável, é a reciclagem no canteiro de obras, com responsabilidade ambiental e redução de custo (PINTO, 2000). Este material pode ser aplicado na forma de argamassa, podendo ser utilizado em inúmeras etapas e partes físicas da construção (GRIGOLI, 2000).

Segundo LIMA (1999), a reciclagem dos resíduos da construção civil é de fundamental importância ambiental e financeira no sentido de que os referidos resíduos retornem para a obra em substituição as novas matérias-primas que seriam extraídas do meio ambiente e 90% dos resíduos gerados pelas obras no Brasil são passíveis de reciclagem. Trata-se de uma atividade que deve ser prioritariamente realizada no próprio canteiro.

A primeira ênfase comercial na reciclagem de RCC no Brasil ocorreu nas décadas de 80 e 90, com instalação de moinhos/argamassadeiras em canteiros de obras, para triturar os resíduos minerais na própria obra (MIRANDA, 2005).

Mas de acordo com MIRANDA (2005), esse método de produção de argamassas apresentou problemas (apesar de trazer benefícios econômicos às construtoras) por falta de planejamento e de conhecimento técnico por parte dos engenheiros. Os canteiros de obras não dispunham de espaço suficiente para instalação do equipamento e armazenamento de RCC; não existia uma gestão racional do resíduo gerado, que reduzisse ao mínimo os gastos com a reciclagem e evitasse a contaminação dos mesmos; por materiais indesejáveis (aço, gesso, plástico, madeira e outros que pudessem inviabilizar a reciclagem); poucos os engenheiros que tinham domínio do processo de moagem, do comportamento dos materiais reciclados e de sua influência nas propriedades das argamassas.

Atualmente, esse assunto tem despertando maiores interesses na academia do que nos canteiros de obras, mas não deveria ser assim, porque o aproveitamento de resíduos no canteiro de obras apresenta inúmeras vantagens como redução

do volume de resíduos a descartar, redução do consumo de materiais extraídos diretamente da natureza, redução do número de caçambas retiradas da obra, obra mais limpa, redução dos acidentes de trabalho, maior produtividade e atendendo aos requisitos ambientais em programas com PBQP-H, Quali-Hab e ISO 14.000 quanto aos passivos ambientais.

A utilização e reciclagem dos resíduos na obra deveriam ser uma prática constante das construtoras como parte integrante do planejamento e execução das mesmas.

2. OBJETIVOS

Diante da responsabilidade que o construtor tem pela destinação final dos resíduos da construção civil (RCC) e os poucos estudos sobre sua utilização em argamassas, como objetivo geral desta dissertação, optou-se por fazer uma pesquisa sobre a viabilidade técnica de utilização de RCC em substituição parcial e total da areia natural na produção de argamassas de revestimentos de paredes e tetos.

Sendo assim, os objetivos específicos a serem atingidos são:

- a) avaliar a influência da substituição da areia natural por RCC como potencial para a utilização nas argamassas;
- b) analisar se o equipamento moinho/argamassadeira de rolo influencia nas propriedades das argamassas;
- c) avaliar e comparar a argamassa produzida no canteiro de obras com as argamassas produzidas no laboratório quanto a trabalhabilidade, resistência a compressão;
- d) analisar a argamassa produzida no canteiro de obras quanto a resistência a aderência e difração de raios-X;
- e) verificar se os resultados obtidos para o arranchamento da argamassa produzida no canteiro de obras estão dentro dos padrões estabelecidos em normas brasileiras.

3. JUSTIFICATIVA

A Resolução n° 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) responsabiliza os geradores de resíduos pela sua destinação final. Dentre as opções para destinação do RCC, a sua utilização em substituição parcial ou total de agregado miúdo natural em argamassas de revestimentos de paredes e tetos apresenta como uma opção técnica e economicamente favorável, já que esses processos pode proporcionar uma redução nos custos, melhoria na imagem da empresa e melhor utilização de espaço físico.

No Brasil, são frequentes os processos construtivos de edifícios que empregam paredes de alvenaria revestidas com argamassas, tanto no sistema de vedação interna, como externa.

A utilização de RCC no próprio canteiro de obras apresenta como uma opção viável para produção de argamassas que atende as prescrições normativas brasileiras, podendo evitar a mistura de resíduos de fontes distintas, que poderia comprometer a qualidade do RCC, restringindo sua aplicação a serviços de menor importância.

A utilização de RCC na produção de revestimentos de argamassa pode resultar em benefícios de ordem social, econômica e ambiental.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. BREVE HISTÓRICO

Há indícios de que o aproveitamento dos resíduos na construção civil é praticado desde o Império Romano e a Grécia Antiga. Também há relatos da sua utilização na Alemanha no período pós-guerra.

A partir de 1980 teve início uma intensificação das pesquisas relativas ao aproveitamento dos resíduos da construção devido a um terremoto que destruiu a cidade de Asnam, na Argélia. Desde a década de 80, as companhias americanas utilizaram os resíduos beneficiados nas construções. Na Holanda, testes e pesquisas para viabilizar e regulamentar a utilização de concreto e alvenaria reciclados são realizados- desde 1984 (SANTOS,1975; LIMA, 1999; LEVY e HELENE, 1996).

No Brasil, várias pesquisas têm sido desenvolvidas, no sentido de obter um melhor entendimento sobre o RCC (PINTO, 1986; LEVY, 1997; ZORDAN, 1997; LIMA, 1999; BAZUCO, 1999; ANGULO, 2000; MIRANDA, 2000; CARNEIRO *et al.*, 2001; LEITE, 2001; LEVY, 2001; SANTANA, 2001; AGUIAR, 2004; DIAS, 2004; CARRIJO, 2005; ANGULO, 2005; PIETRA, 2005; MIRANDA, 2005).

No tocante ao estudo das argamassas de revestimento de paredes e tetos com areia reciclada de RCC, o trabalho de PINTO (1986) foi o primeiro que abordou esta aplicação.

MIRANDA (2000) trabalhou com composições de RCC selecionados, produzidos em laboratório e compostos de bloco cerâmico, argamassa mista comum e blocos de concreto. Foi avaliado o desempenho quanto à fissuração, aderência ao substrato, absorção capilar e choque térmico, contribuindo com os estudos de dosagem e desempenho de argamassas com areia reciclada de RCC.

Uma revisão bibliográfica mostra que a utilização de RCC é viável técnica, social, econômica e ambientalmente. Contudo nos dias atuais enfrenta ainda alguns

problemas como sua variabilidade de composição e a presença de contaminações.

4.2 DESPERDÍCIOS DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Desperdício não pode ser visto apenas como o material refugado no canteiro (rejeitos), mas sim, como toda e qualquer perda durante o processo. Portanto, qualquer utilização de recursos além do necessário à produção de determinado produto é caracterizada como desperdício, classificado conforme: seu controle, sua natureza e sua origem.

De acordo com o controle, as perdas são consideradas inevitáveis (perdas naturais) e evitáveis. Segundo sua natureza, as perdas podem acontecer por volume maior que o necessário, substituição, espera, transporte, no processamento em si, nos estoques, nos movimentos, pela fabricação de produtos defeituosos, e outras, como roubo, vandalismo, acidentes, etc. Conforme a origem, as perdas podem ocorrer no próprio processo produtivo, como nos que o antecedem, como fabricação de materiais, preparação dos recursos humanos, projetos, planejamento e suprimentos. Observe-se que, em todos os casos, a qualificação do trabalhador está presente.

São muitas as causas das perdas na construção civil, como pode ser constatado nos estudos de SKOYLES (1976); PINTO (1989); PICCHI (1993); Grupo de Gerenciamento UFSC (1997); MORAES (1997) e tantos outros.

Segundo ZORDAN (2002) alguns sistemas construtivos e de demolição podem produzir resíduos com maior potencial reciclável que outros, por isso a mistura de materiais e componentes ou sua contaminação podem favorecer ou não a utilização e a reciclagem dos resíduos.

A geração de resíduos na construção civil pode ocorrer nas diferentes fases do ciclo de vida dos empreendimentos. Na fase de construção, a geração está relacionada às perdas nos processos construtivos – parte dessas perdas é incorporada nas construções e parte se converte em resíduo (JOHN e AGOPYAN, 2000). Na fase de manutenção e reformas, está relacionada a ações corretivas nas edificações, reformas ou modernizações de parte ou de toda a edificação e do descarte de componentes que atingiram o final de sua vida útil.

A importância de detectar a ocorrência de uma faixa de valores para as perdas foi reforçada pela pesquisa nacional “Alternativas para a Redução do Desperdício de Materiais no Canteiro de Obra”, promovida pelo ITQC – Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil, com recursos da FINEP – Financiadora de Recursos e Projetos, tendo envolvido 16 universidades brasileiras e pesquisado o fluxo de materiais em 99 diferentes canteiros de obra, considerando as perdas que ocorrem especificamente dentro do canteiro de obras, isto é, associadas à fase de execução do empreendimento (SOUZA *et al.*, 1998). A Tabela 1 apresenta, para a construção empresarial, a significativa variabilidade dos valores detectados para alguns dos materiais comuns à atividade construtiva. Na mesma tabela são apresentados, também, os resultados obtidos em duas outras pesquisas anteriores sobre o mesmo tema (PINTO, 1999).

Tabela 1 - Perda de materiais em processos construtivos convencionais, conforme pesquisa nacional em 12 estados e pesquisas anteriores.

Materiais	FINEP/ITQC (1)	Pinto (1)	Soibelman (3)
	%	%	%
Concreto usinado	9	1,5	13
Aço	11	26	19
Blocos e tijolos	13	13	52
Cimento	56	33	83
Cal	36	102	--
Areia	44	39	44

(1) Mediana de diversos canteiros (SOUZA *et al.*, 1998)

(2) Valores de uma obra (PINTO, 1989).

(3) Média de cinco obras (SOIBELMAN, 1993)

Fonte: PINTO, 1999.

A pesquisa, segundo SOUZA *et al.* (1998), constatou uma variedade grande de desempenho entre uma e outra empresa, tais como perdas mínimas (2,5%) comparáveis aos melhores índices internacionais ao mesmo tempo em que um desperdício alarmante (133%) devido às muitas falhas cometidas na empresa. Também foram constatadas diferenças dentro de uma mesma empresa, de um serviço para outro. O estudo mostrou, principalmente, que o desperdício, em média, é muito menor que o legendário e divulgado desperdício de 30%, ou de uma casa a cada três construídas. Por exemplo, no caso do concreto usinado, a maior perda registrada foi de 23,34%, a média ficou em 9,59%, e a mediana em 8,41%.

De acordo com AGOPYAN (2000), os índices médios de desperdício estão entre 7 e 8% (perdas físicas), refletindo as perdas de materiais que se tornaram entulho ou ficaram incorporados à obra, sem levar em conta as despesas com mão de obra que essa perda implica, além da despesa com a retirada do entulho.

Para MARQUES (2005), as argamassas despertam maior preocupação em relação às perdas nos canteiros de obra, pois os índices para esses materiais chegam a 50% do total do material utilizado. A indústria da construção civil, embora não seja a única a ter alto nível de desperdício e ainda que as perdas já não cheguem a 30%, continua a gerar grandes quantidades de RCC. O autor exemplifica o caso de um empreendimento com margem de lucro de 8% e perdas de materiais na ordem de 3 a 4% (perda financeira) em que o desperdício pode representar até 50% do lucro.

A Tabela 2 apresenta taxas de desperdício de materiais na qual aparecem diferenças consideráveis entre os valores de mínimo e máximo, diferenças estas devidas às variações entre metodologias de projeto, execução e controle de qualidade das obras.

Tabela 2 – Taxas de desperdício de materiais.

Materiais	Taxa de Desperdício (%)		
	Média	Mínimo	Máximo
Concreto Usinado	9	2	23
Aço	11	4	16
Blocos e Tijolos	13	3	48
Placas Cerâmicas	14	2	50
Revestimento Têxtil	14	14	14
Eletrodutos	15	13	18
Tubos para sistemas prediais	15	8	56
Tintas	17	8	24
Condutores	27	14	35
Gesso	30	14	120

Fonte: ESPINELLI, 2005.

4.3. REDE DE USINAS DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM BELO HORIZONTE.

Segundo CATAPRETA *et al.* (2008) a Rede de Usinas de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil é composta por três unidades instaladas nas regionais administrativas Oeste, Noroeste e Pampulha de Belo Horizonte, e possuem capacidade de britagem que atende à quase toda produção de RCC da cidade. O recebimento dos resíduos nessas unidades é gratuito e tem como objetivo estimular a adesão dos grandes geradores e transportadores.

Em 1995 e 1996 foram, respectivamente, implantadas as usinas Estoril e Pampulha, como podem ser observadas nas Figuras 1 e 2. Em 2006, foi implantada a terceira usina, localizada na Central de Tratamento de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte - CTRS BR 040 (Figura 3).

Segundo CATAPRETA *et al.* (2008) os resíduos encaminhados a essas Usinas são exclusivamente da construção e demolição (resíduos classe A) com no máximo 10% de presença de resíduo classe B (aqueles considerados recicláveis para outras destinações, como plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros) e ausência de terra, matéria orgânica, gesso e amianto, segundo padrões estabelecidos pela Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte (SLU). No caso de grandes volumes, quando autorizada, geralmente é feita programação para recebimento.



Figura 1 - Unidade de Reciclagem Pampulha.

Fonte: CATAPRETA *et al.*, 2008.



Figura 2 - Unidade de Reciclagem Estoril.

Fonte: CATAPRETA *et al.*, 2008.



Figura 3 - Unidade de Reciclagem BR 040.

Fonte: CATAPRETA *et al.*, 2008.

Conforme descrito por FIÚZA *et al.* (2007), a Usina de Reciclagem Estoril, mais antiga, possui um maquinário adaptado de equipamentos utilizados por empresas de mineração, sendo sua capacidade nominal inicial de 10 t/h. Modificações posteriores permitiram sua ampliação para 15 t/h. A Usina da Pampulha possui um equipamento com capacidade nominal de britagem de 30 t/h. A Usina de Reciclagem de Entulho instalada na CTRS BR 040, maior dentre as implantadas, possui capacidade nominal de processar 50 t/h de RCC.

As Usinas Estoril e Pampulha têm capacidade de produzir somente material equivalente à bica corrida (material de composição granulométrica variada, sem graduação definida), enquanto que a unidade da BR-040 pode produzir quatro tipos de materiais classificados de acordo com sua granulometria como: finos ($D < 4,8\text{mm}$), britas 0 ($4,8\text{mm} < D < 9,5\text{mm}$) e 1 ($9,5\text{mm} < D < 19,0\text{mm}$) e bica corrida (MAQBTRIT, 2006). Entretanto, destaca-se que as Usinas Estoril e Pampulha podem também produzir material agregado para confecção de blocos, desde que haja segregação prévia, sendo britados apenas materiais à base de concreto, com posterior peneiramento (CATAPRETA *et al.*, 2008).

Como pode ser observado na Tabela 3 as quantidades de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e RCC computados pela SLU em Belo Horizonte, em média, os RCC representam cerca de 36% da massa de resíduos gerada, demonstrando a necessidade de reciclagem e/ou destinação adequada desses resíduos.

Tabela 3 – Quantidade de RSU e RCC computados pela SLU em Belo Horizonte no período 1995-2007.

Ano	RSU (T/ano)	RCC (T/ano)	Total (T/ano)	RCC Total (%)
1995	673.499	1.780	675.279	-
1996	721.427	770.545	1.491.972	51,6
1997	773.352	538.405	1.311.757	41,0
1998	804.372	719.175	1.523.547	47,2
1999	1.182.005	777.050	1.959.055	39,7
2000	1.215.640	848.632	2.064.272	41,1
2001	1.277.232	611.886	1.889.118	32,4
2002	1.262.659	667.333	1.929.992	34,6
2003	1.178.196	486.880	1.665.076	29,2
2004	1.151.767	541.005	1.692.772	32,0
2005	1.089.244	316.599	1.405.844	22,5
2006	943.829	381.976	1.325.805	28,8
2007	953.877	755.711	1.709.588	44,2
Total	13.227.100	7.416.977	20.644.077	(Média) 35,9

Fonte: SLU, 2008.

Na Tabela 4 é apresentada a quantidade de RCC encaminhado para disposição em aterro e reciclagem desde a instalação da primeira Usina, em 1995, até o ano de 2007. Nota-se que do total de resíduos computados pela SLU, cerca de 16% foi enviada para reciclagem, sendo que entre os anos 2003, 2004 e 2005 foram observados os maiores percentuais.

Tabela 4 - Quantidade de RCC encaminhado para disposição em aterro e reciclagem (t/ano).

Período	Encaminhado para Reciclagem				Disposição em Aterro	Total	% Encaminhada para Reciclagem
	Usina						
	Estoril	Pampulha	CTRS-040	Total			
1995	1.780	-	-	1.780	-	1.780	-
1996	26.196	174	-	26.370	744.175	770.545	3,4
1997	24.739	13.642	-	38.381	500.024	538.405	7,1
1998	45.141	22.649	-	67.790	651.385	719.175	9,4
1999	62.199	37.411	-	99.610	677.440	777.050	12,8
2000	78.336	55.396	-	133.732	714.900	848.632	15,8
2001	43.629	59.149	-	102.778	509.108	611.886	16,8
2002	47.253	69.805	-	117.058	550.275	667.333	17,5
2003	51.470	65.411	-	116.881	369.999	486.880	24,0
2004	49.758	65.968	-	115.726	425.279	541.005	21,4
2005	43.978	60.805	-	104.783	211.816	316.599	33,1
2006	27.250	30.148	6.103	63.501	318.475	381.976	16,6
2007	29.104	40.958	21.317	91.379	664.332	755.711	12,1
Total	530.833	521.516	27.420	1.079.769	6.337.208	7.416.977	15,8 (Média)

Fonte: SLU, 2008.

Os materiais obtidos pela reciclagem dos RCC têm sido utilizados na pavimentação de vias e na urbanização de vilas em Belo Horizonte, além de serem empregados na construção de blocos para alvenaria e na produção de argamassa e concretos para construção de sarjetas e pisos.

A fabricação de blocos concretos é realizada nas Usinas Estoril e Pampulha. A Tabela 5 apresenta a quantidade de blocos produzidos nas Usinas de Reciclagem de RCC de Belo Horizonte no período 2005-2007 e na Tabela 6 temos a quantidade de RCC reciclado em 2008.

Tabela 5 – Quantidade de materiais produzidos com RCC reciclados (2005 – 2007).

Usina	Tipo de material Produzido	Quantidade Produzida (unidades)			
		2005	2006	2007	Total
Estoril	Bloco	-	-	-	-
	M010 ⁽¹⁾	30.412	39.756	32.294	102.462
	M015 ⁽²⁾	73.972	79.634	53.436	207.042
	M020 ⁽³⁾	54.276	67.739	48.355	170.370
	Subtotal 1	158.660	187.129	134.085	479.874
Pampulha	Bloco	-	-	3.988	3.988
	M010 ⁽¹⁾	576	1.534	1.380	3.490
	M015 ⁽²⁾	10.470	4.681	4.311	19.462
	M020 ⁽³⁾	485	-	-	485
	Subtotal 1	11.531	6.215	9.679	27.425
Total Geral		170.191	193.344	143.764	507.299

Larguras nominais dos blocos segundo a NBR 6133/2006:

(1) Largura nominal de 10 cm

(2) Largura nominal de 15 cm

(3) Largura nominal de 20 cm

Fonte: SLU, 2008.

Tabela 6 - Quantidade de RCC reciclado em 2008 nas três usinas.

DISCRIMINAÇÃO	VOLUME (m ³)	MASSA (t)
Recepção de RCC	110.778	132.934 ⁽¹⁾
Material britado produzido	87.429	122.401 ⁽²⁾
Material britado expedido	90.427	144.683 ⁽³⁾
Rejeitos	8.648	9.947

Para cálculo de toneladas foi utilizado os pesos específicos conforme abaixo:

(1) Material recebido: 1,2 t/m³;

(2) Material preparado para britagem: 1,4 t/m³

(3) Material britado expedido: 1,6 t/m³.

Fonte: SLU, 2009.

Segundo CATAPRETA *et al.* (2008) apesar de se observar um bom desempenho as usinas de reciclagem apresentam algumas dificuldades operacionais, como:

- Falta de balança, que permitiria um melhor controle da quantidade dos resíduos reciclados. Somente a usina instalada na CTRS BR 040, possui balança para pesagem dos RCC;
- Os resíduos que vão para as usinas muitas vezes são misturados com outros resíduos sólidos urbanos, que causam contaminações.
- As usinas Estoril e Pampulha, que são mais antigas, exigem um plano de manutenção mais intenso, pois suas estruturas já apresentam processo de fadiga mais elevado.
- Necessidade de adaptação das usinas Estoril e Pampulha para produção de outros tipos de granulometria.
- Capacidade dos pátios de armazenamento, que por serem reduzidos, em determinadas épocas limita a capacidade de britagem dos RCC.

4.4. DEFINIÇÃO, CARACTERIZAÇÃO, ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DO RCC.

A norma NBR 10004 (2004) define os resíduos sólidos da seguinte maneira:

“Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.” (ABNT, 2004).

A Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 5 de julho de 2002, define os RCC como sendo:

“Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha” (CONAMA 2002).

A norma NBR 10004 (2004) classifica os resíduos em:

- a) resíduos classe I - Perigosos;
- b) resíduos classe II – Não perigosos;
 - resíduos classe II A – Não inertes.
 - resíduos classe II B – Inertes.

Os RCC são enquadrados na classe II B – Inertes:

“Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor. Como exemplo destes materiais, podem-se citar rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente” (ABNT, 2004)

Esta resolução (307/2002 – CONAMA) considerando que existe uma grande heterogeneidade nos resíduos que são gerados em uma obra e para efeito de gerenciamento, estabeleceu uma classificação para esses RCC, conforme estão organizados na Tabela 7.

Tabela 7 – Classificação dos RCC segundo a Resolução 307/2002 – CONAMA.

Classe	Tipo	Resíduo
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis.	De construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem.
		De construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto.
		De processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
B	Resíduos recicláveis para outras destinações.	Plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
C	Resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação.	Produtos oriundos do gesso.
D	Resíduos perigosos oriundos do processo de construção.	Tintas, solventes, óleos e outros.
	Resíduos contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos.	Resíduos oriundos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Fonte: CONAMA, 2002.

A Resolução nº 348 do CONAMA (2004) incluiu o amianto na classe D (resíduos perigosos), complementando a Resolução nº 307.

É fundamentalmente importante seguir a classificação oferecida na Resolução 307/2002 – CONAMA (Tabela 7) para planejar qualitativa e quantitativamente a redução, reutilização, reciclagem e a destinação final dos mesmos.

Também é importante que se faça a caracterização dos RCC gerados por etapa da obra, pois proporcionará uma melhor leitura do momento de reutilização e/ou

reciclagem de cada classe. Na Tabela 8, encontra-se a identificação dos resíduos gerados por etapa de uma obra de edifício residencial.

Tabela 8 – Geração de resíduos por etapa de uma obra de edifício residencial.

	Tipos de resíduos possivelmente gerados
Limpeza do Terreno	Solos
	rochas, vegetação, galhos
Montagem do Canteiro	blocos cerâmicos, concreto (areia; brita)
	Madeiras
Fundações	Solos
	Rochas
Superestrutura	concreto (areia; brita)
	Madeira
Alvenaria	sucata de ferro, fôrmas plásticas
	blocos cerâmicos, blocos de concreto, argamassa
Instalações Hidrosanitárias	papel, plástico
	blocos cerâmicos
Instalações Elétricas	PVC
	blocos cerâmicos
Reboco Interno/Externo	conduítes, mangueira, fio de cobre
	Argamassa
Revestimentos	pisos e azulejos cerâmicos
	piso laminado de madeira, papel, papelão, plástico
Forro de Gesso	placas de gesso acartonado
Pinturas	tintas, seladoras, vernizes, texturas
Coberturas	Madeiras
	cacos de telhas de fibrocimento

Fonte: VALOTTO, 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT publicou em 2004, uma série de normas relativas aos resíduos da construção civil. O conteúdo referente a estas normas vem de encontro às diretrizes propostas pela Resolução 307/2002 – CONAMA. Estas normas tratam de áreas de transbordo e triagem, áreas de reciclagem, aterros de resíduos da construção civil e o uso como agregados reciclados na execução de camadas de pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.

- NBR15112/2004 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Área de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR15113/2004 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR15114 /2004 – Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação;

- NBR15115/2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos;

- NBR15116/2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.

4.5. ALGUMAS PESQUISAS BRASILEIRAS UTILIZANDO RCC NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS.

PINTO (1986) estudou a utilização de RCC para a produção de argamassas. Coletou trinta e três amostras, distribuídas pelos depósitos do resíduo na cidade de São Carlos-SP, dividiu o resíduo de acordo com suas características granulométricas, em cinco categorias, e analisou seu comportamento como agregado na confecção de argamassas, comparando-o ao uso da areia normal. Ele obteve bons resultados na resistência a compressão das argamassas nos traços com presença de cal, e atribuiu a dois fatores: à reação pozolânica dos finos reativos dos resíduos em presença da cal e a uma maior velocidade de carbonatação, em função da porosidade maior que as argamassas de resíduos apresentam.

LEVY e HELENE (1996) selecionaram quatro tipos de materiais que compõem o RCC, e os processaram em moinho de rolo. Com esse material moído produziram oito diferentes tipos de argamassas, a partir de traços em massa de material seco, similares aos empregados em obras convencionais. Constataram que as argamassas produzidas com o RCC apresentaram uma redução de 10 a 15% no consumo de cimento, 100% no consumo de cal e, de 15 a 30% no consumo de areia, além de um ganho de resistência a compressão que varia de 20 a 100%, conforme o traço utilizado, em relação aos valores obtidos com argamassas convencionais. Observaram, ainda, que todas as argamassas, quando aplicadas em substratos chapiscados, atenderam às exigências da norma brasileira, que sugere um valor mínimo de 0,20 MPa de resistência à tração aos 28 dias para superfícies internas destinadas a receber pintura.

HAMASSAKI *et al.* (1997) pesquisaram a reciclagem de resíduos na produção de argamassa de alvenaria simulando a reutilização do resíduo no próprio local gerador. Partindo do traço referencial 1:6 (cimento: areia; em volume), concluíram que a quantidade de cal presente nas misturas influenciou na retenção de água e que as alterações mais significativas nos valores de retenção são verificadas somente nas argamassas sem cal, que chegam a ser 3,5 vezes maiores que a retenção obtida nos traços de referência.

ALVES (2002) pesquisou a substituição parcial do cimento por pozolana de resíduo cerâmico moído para teores de 10, 15, 25, 35, e 45%, determinando a resistência à compressão ao 1, 3, 7, 28, 63, 91, e 182 dias. Constatou que para 10% de substituição, a resistência da argamassa com RCC atingiu valor 36% maior que a de referência aos 182 dias. Para 15% de substituição, entre 28 e 182 dias, a argamassa apresentou um acréscimo de resistência da ordem de 28% em relação à argamassa de referência. Para 25% de substituição, a resistência aos 91 dias se equipara a resistência da argamassa de referência aos 28 dias. Para 35% de substituição, a resistência aos 91 e 182 dias é praticamente equivalente à resistência da argamassa de referência.

De acordo com VIEIRA (2005), é viável tecnicamente a utilização do resíduo de cerâmica vermelha reciclada na produção de argamassas, tanto de assentamento quanto de revestimento, por este apresentar índice de atividade pozolânica satisfatório, contribuindo para o aumento da resistência da argamassa.

MENDES e BORJA (2007) utilizando resíduos de cerâmica vermelha proveniente da quebra ou empena de telhas, elaboraram quatro traços de argamassa nas proporções de 5, 10, 15 e 20% de resíduo de cerâmica vermelha em substituição à cal, cujo traço de referência era composto de cimento, cal e areia natural. As propriedades analisadas das argamassas foram: índice de consistência, teor de ar incorporado e densidade da argamassa no estado fresco. Os resultados apontaram um aumento gradativo para o índice de consistência em relação à argamassa de referência, fato explicado pela redução de cal na argamassa. Houve também um aumento de teor de ar incorporado em relação ao traço de referência, com exceção feita ao traço com 5% em que se teve redução de teor de ar incorporado. A densidade das argamassas em que foram feitas as substituições alcançaram resultados inferiores ao traço de referência, conseqüentemente uma melhor trabalhabilidade, com exceção feita à substituição de 5%. O resíduo da cerâmica vermelha substituindo a cal, em proporções parciais, tornou-se viável tecnicamente.

Na pesquisa de BARBOSA e OLIVEIRA (2010) estudaram a substituição parcial do agregado natural pelo resíduo de cerâmica vermelha de blocos de construção

reciclados nas proporções de 5, 10 e 15% para aplicação em argamassas de assentamento (traço 1:3), os resultados foram: argamassa de referência apresentou resistência a compressão de 20,6 MPa e, para as argamassas com 5, 10 e 15%, as resistências à compressão encontradas foram de 20,6 MPa, 21,3 MPa e 23,4 MPa, respectivamente, resultados aos 28 dias. Por estes resultados, fica claro que, quanto maior o percentual de substituição do agregado natural pelo agregado de resíduo cerâmico reciclado, analisado neste estudo, maior a resistência apresentada pela argamassa.

Segundo estudos realizados por GRIGOLI (2001a), a utilização da reciclagem pelo construtor, de resíduos da própria obra, é economicamente viável e vantajosa, especificamente para o uso de argamassas.

ANVI (1992) *apud* LIMA (1999) realizou estudo de viabilidade econômica da aplicação de RCC em argamassas. Foi realizada estimativa de redução de custo com a utilização das argamassas com reciclado em obra de 8.000 m² de área construída e 12.000 m² de paredes. Pelos cálculos da ANVI a redução de custos é de aproximadamente 41%. Os resultados referem-se à cidade de São Paulo/SP, e são válidos para argamassas preparadas com moinhos de rolo de pequeno porte. As argamassas convencionais foram preparadas com betoneira comum. Segundo os autores, a comparação de custos foi feita considerando-se apenas os preços dos materiais (cal, areia e cimento). Não é informado se foi considerado o custo da mão de obra para preparação das argamassas. Também não fica claro se foi considerado o custo de remoção de resíduos da obra, que se incluso na análise pode modificar os resultados favoravelmente à aplicação do reciclado.

4.6. COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

PINTO (1989) caracterizou os resíduos de construção gerados em São Carlos/SP, através da coleta de trinta e três amostras nos depósitos espalhados pelo município, em 1985 (Tabela 9). Pelos resultados pode-se observar que os materiais mais presentes no resíduo de construção são as argamassas e os componentes cerâmicos, com presença significativamente maior das primeiras.

Tabela 9 - Composição média dos resíduos de construção no município de São Carlos, em 1985.

Material	Média (% em massa)
Argamassa	64,0
Produtos cerâmicos	29,1
Concreto	4,2
Pedras	1,4
Ladrilhos de concreto	0,4
Cimento amianto	0,4
Papel e matéria orgânica	0,2
Solo	0,1
Blocos de concreto	0,1
Madeira	0,1
Vidro	0,0
Metais e plásticos	0,0
Total	100,0

Fonte: PINTO, 1989.

ZORDAN (1997) estudou a composição de agregado reciclado produzido na recicladora pública de Ribeirão Preto, coletando amostras em 1996, com intervalos aproximados de uma semana entre as coletas. Os resultados (Tabela 10) demonstram grande variação na composição.

Tabela 10 - Composição do agregado reciclado produzido em Ribeirão Preto, em setembro de 1996.

Porcentagem dos materiais presentes (% em massa)					
Material presente	Amostras				
	A	B	C	D	Média
Argamassa	36,8	35,7	37,9	39,4	37,4
Concreto	19,8	21,6	21,5	21,7	21,1
Cerâmica	14,6	25,9	23,8	18,9	20,8
Pedras	27,4	13,4	12,4	17,6	17,7
Cerâmica polida	1,2	2,6	4,0	1,9	2,5
Outros	0,2	0,8	0,4	0,5	0,5
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100

Fonte: ZORDAN, 1997.

LATTERZA (1998) também determinou a composição de agregado reciclado produzido nesta recicladora (Tabela 11).

Tabela 11 - Composição do agregado reciclado produzido na Central de Reciclagem de Ribeirão Preto.

Material presente	Porcentagem de cada material (% em massa)
Argamassa	46,2
Cerâmicos	19,2
Brita	19,1
Concreto	14,6
Torrões	0,9
Total	100

Fonte: LATTERZA, 1997.

Observa-se pelos resultados de ZORDAN (1997) e LATTERZA (1997) a heterogeneidade dos resíduos no mesmo município e mesma recicladora. Entretanto, as porcentagens dos diferentes materiais, na média, situam-se em

faixas semelhantes, com valores para concreto, pedra britada e materiais cerâmicos muito próximos, e bem maiores para argamassas.

ASSIS e OLIVEIRA (1998) apresentam a composição de RCC de quatro edifícios em Guaratinguetá/SP, em fase de acabamento (Tabela 12).

Tabela 12 – Composição de RCC em Guaratinguetá/SP.

Resíduos	Média (% em massa)
III – Argamassas	41
IV – Outros	30
II - Tijolos cerâmicos	22
I – Concreto	7
Total	100

Fonte: ASSIS & OLIVEIRA, 1998.

Não foi informado quanto faltava para o acabamento completo das obras, o que prejudica a análise, pois podem gerar quantidades significativas de resíduos de argamassa, não compiladas. Não é especificado o resíduo incluído na Categoria IV (Outros). Observa-se que as porcentagens de argamassas e cerâmicos são muito parecidas com os resultados de ZORDAN (1997) e LATTERZA (1997) (da ordem de 40 e 20 %, respectivamente).

Os resíduos de construção são compostos predominantemente por materiais cerâmicos, areia, pedra e aglomerantes. As argamassas e materiais cerâmicos são os mais presentes. A participação das argamassas varia entre 37 e 64 %. A composição média dos resíduos de construção varia conforme a região e o período de análise, não sendo possível a fixação de valores definitivos para a porcentagem dos diversos componentes. Mesmo para um mesmo local de amostragem pode-se ter grandes variações na participação de alguns materiais. Em alguns casos a participação dos materiais considerados impurezas é significativa.

Um dos problemas no RCC é variabilidade de composição e, conseqüentemente, de outras propriedades desses agregados reciclados (ANGULO, 2000).

Segundo JADOVSKI (2005), pode-se considerar como contaminantes no reciclado praticamente todos os materiais minerais não inertes ou materiais que prejudicam a qualidade de concretos e argamassas, tais como: cloretos, sulfatos, matéria orgânica, produtos industrializados leves (papel, plástico, tecido, borracha etc.), vidro, betume, vegetação, terra, gesso, madeira, refratários, metais, álcalis e areias industriais quimicamente contaminadas.

Os concretos produzidos com agregados reciclados contaminados com solos argilosos ou matéria orgânica podem sofrer redução das resistências mecânicas, ou instabilidade dimensional quando expostos a ciclos de umedecimento/secagem, sendo que, este tipo de contaminação pode atingir indistintamente agregados naturais e reciclados.

A presença de material betuminoso no agregado reciclado reduz a resistência do concreto produzido (LEITE, 2001), e contribui para uma grande quantidade de incorporação de ar ao concreto.

Pequenas quantidades de aço ou pedaços de arame podem causar manchas ou pequenos danos à superfície do concreto, principalmente em presença de cloretos. A remoção dos metais presentes nos RCC pode ser feita antes do seu beneficiamento através de separação magnética, para não danificar os equipamentos de britagem, ou no decorrer do processo de beneficiamento, pois o aço não se fragmenta devido a sua característica dúctil (LEVY, 1997).

4.7. REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

4.7.1. Funções do Revestimento de Argamassa

Conforme MACIEL *et al.* (1998), as principais funções do revestimento de argamassa são:

- a) proteger os elementos de vedação da ação direta dos agentes agressivos;
- b) auxiliar as vedações no cumprimento de suas funções, como o isolamento termoacústico e a estanqueidade à água e aos gases;
- c) regularizar a superfície dos elementos de vedação para o recebimento de revestimentos ou para constituir-se no acabamento final;
- d) contribuir para a estética da fachada.

A norma NBR 13749 (ABNT, 1996b), estabelece que o revestimento de argamassa deve satisfazer:

- a) ser compatível com o acabamento decorativo (pintura, revestimento cerâmico e outros);
- b) ter resistência mecânica decrescente ou uniforme a partir da primeira camada em contato com a base, sem comprometer a sua durabilidade ou o seu acabamento final;
- c) ser constituído por uma ou mais camadas superpostas de argamassas contínuas e uniformes;
- d) ter propriedade hidrofugante, no caso de revestimento externo de argamassa aparente, sem pintura e base porosa;
- e) ter propriedade impermeabilizante, no caso de revestimento externo em contato com o solo;
- f) resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade do meio.

4.7.2. Propriedades da Argamassa no Estado Fresco

Segundo MACIEL *et al.* (1998), para que os revestimentos de argamassa possam cumprir adequadamente suas funções, precisam apresentar um conjunto de propriedades específicas, que são relativas à argamassa no estado fresco, conforme descritas a seguir:

4.7.2.1. Massa específica e teor de ar incorporado

Segundo NASCIMENTO (2008), a massa específica diz respeito à relação entre a massa do material e o seu volume e pode ser absoluta (não são considerados os vazios existentes no volume do material) ou aparente (consideram-se os vazios impermeáveis). A massa unitária constitui-se na massa do material que ocupa um recipiente com capacidade unitária, valor utilizado para a conversão de quantidades expressas em massa para as expressas em volume. Para um material com determinada massa específica, a massa unitária depende do adensamento conferido ao material e, portanto, da forma e distribuição de tamanho das partículas, relacionando-se com a distribuição granulométrica da areia.

O teor de ar é a quantidade de vazios existentes em certo volume de argamassa. Esses vazios constituem-se como ar aprisionado/incorporado ou espaços deixados após evaporação do excesso de água, dependendo, ainda, da granulometria das partículas mais finas da mistura.

Tanto a massa específica como o teor de ar interferem em outras propriedades da argamassa, como a trabalhabilidade, que é melhorada com uma menor massa específica e maior teor de ar incorporado, mas um aumento do teor de ar incorporado pode prejudicar a resistência mecânica e a aderência da argamassa.

4.7.2.2. Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é uma das mais importantes propriedades das argamassas no estado fresco, haja vista a sua obrigatoriedade para que possa ser

convenientemente utilizada. SELMO (1989) cita que uma argamassa de revestimento tem boa trabalhabilidade quando se deixa penetrar com facilidade pela colher de pedreiro, sem ser fluida; mantendo-se coesa – sem aderir à colher – ao ser transportada para a desempenadeira e lançada contra a base; e permanece úmida o suficiente para ser espalhada, cortada e ainda receber o tratamento superficial previsto.

Para CINCOTTO *et al.* (1995) trabalhabilidade é a propriedade que depende e resulta de várias outras, tais como: consistência, plasticidade, coesão, tixotropia e retenção de água, além da exsudação, tempo de pega e adesão inicial, e é diretamente relacionada com o julgamento subjetivo por parte do pedreiro.

Para CARASEK (1997) trabalhabilidade é a habilidade de fluir ou espalhar-se sobre a superfície do componente do substrato, por suas saliências, protuberâncias e fissuras, definindo a intimidade do contato entre a argamassa e o substrato, relacionando-se, assim, com a aderência e sua extensão.

As definições são apenas descritivas e algumas propriedades são de difícil mensuração (coesão, plasticidade, consistência, tixotropia, retenção de água, dentre outros). A consistência e a plasticidade são apontadas como as principais propriedades que determinam uma condição de trabalhabilidade das argamassas de revestimento.

A mesa para índice de consistência foi o método empregado nesta pesquisa para avaliar a consistência das argamassas, por ser o mais empregado e difundido. Este método, conforme estabelecido pela NBR 13276 (ABNT, 2005b), se inicia com a preparação da argamassa no misturador mecânico com tempo de mistura de quatro minutos, com velocidade lenta e sua posterior moldagem em uma fôrma tronco cônica (base maior: $\varnothing=12,5$ cm; base menor: $\varnothing=8,0$ cm; altura: 6,5 cm) posicionada sobre uma mesa plana com manivela. A argamassa é, então, colocada na fôrma em três camadas da mesma altura e, com soquete, são aplicados 15, 10 e 5 golpes uniformes e homogeneamente distribuídos, respectivamente, da primeira à terceira camada. Após o preenchimento, a fôrma é retirada e, em seguida, a manivela da mesa é movimentada, fazendo com que

esta caia 30 vezes, em aproximadamente 30 segundos, provocando o espalhamento do cone da argamassa. Com o paquímetro, medem-se três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro, então pela média dessas medidas calcula-se o índice de espalhamento. A Tabela 13 trás os Limites de espalhamento segundo finalidade das argamassas.

Tabela 13 – Limites de espalhamento segundo finalidade das argamassas.

Finalidade da Argamassa	Índice de Espalhamento (mm) NBR 13276 (2005)
Assentamento de tijolos cerâmicos	240 – 270
Revestimento interno e externo	280 – 320
Contrapiso	180 – 200
Chapisco	> 350
Base de assentamento de carpete	160 – 180 (terra úmida)
Industrializada para assentamento de cerâmicas e azulejos	330 – 350

Fonte: ABNT, 2005.

MIRANDA e SELMO (2006) avaliaram o efeito de materiais inferiores à dimensão de 75µm de RCC nas propriedades das argamassas e do desempenho dos revestimentos. Os autores verificaram que as misturas com resíduo de argamassa, apresentaram uma relação a/c maior, em relação às misturas com resíduo cerâmico e de concreto.

GONÇALVES *et al.* (2007) avaliaram o uso de agregados cerâmicos reciclados na confecção de argamassas. Os autores verificaram que a trabalhabilidade para uma relação a/c igual a 0,5 foi similar para as argamassas com agregado reciclado em relação às argamassas com agregado natural. Para uma relação a/c igual a 0,4, as argamassas com agregado reciclado apresentaram uma redução na trabalhabilidade. A maior diferença na consistência (14%) ocorreu para os agregados triturados com o britador tipo cone. Para os agregados triturados no moinho de impacto a diferença foi de 6%.

Segundo MIRANDA (2000), apesar da maioria das argamassas com agregados reciclados consumir uma quantidade de água total bem superior à normalmente consumida por argamassas mistas, a maior parte das argamassas apresentaram facilidade de aplicação.

4.7.2.3. Retenção de água

Retenção de água é a propriedade que confere à argamassa a capacidade dessa não alterar sua trabalhabilidade, mantendo-se aplicável por um período adequado de tempo quando sujeita a solicitações que provoquem perda de água, seja ela por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação. Rápida perda de água compromete sua aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica e, com isso, a durabilidade e a estanqueidade do revestimento e da vedação ficam comprometidas (CINCOTTO *et al.*, 1995).

4.7.2.4. Aderência inicial

Propriedade relacionada ao fenômeno mecânico que ocorre em superfícies porosas, pela ancoragem da argamassa na base, através da entrada da pasta nos poros, reentrâncias e saliências, seguido do endurecimento progressivo da pasta. Segundo (SELMO, 1989) uma vez que a argamassa molha a base através da pasta, parte da água de amassamento contendo os aglomerantes em dissolução, é succionada pelos poros da base. No interior destes, ocorrem à precipitação e hidratação dos silicatos e hidróxidos, seu consequente endurecimento progressivo e a ancoragem da argamassa à base.

Esta propriedade depende das outras propriedades da argamassa no estado fresco, das características da base de aplicação (porosidade, rugosidade, condições de limpeza) e da superfície de contato efetivo entre a argamassa e a base. Também deve ser comprimida após a sua aplicação, para promover o maior contato com a base.

4.7.2.5. Retração na secagem

A retração na secagem ocorre em função da evaporação da água de amassamento das argamassas, de reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. A retração causa microfissuras que não são prejudiciais, mas podem causar fissuras que permitem a percolação da água pelo revestimento já no estado endurecido, comprometendo a sua estanqueidade.

As características e as proporções dos materiais, a espessura e o intervalo de aplicação das camadas, o respeito ao tempo de sarrafeamento e desempenho, são fatores que influenciam a propriedade de retração.

4.7.3. Propriedades da Argamassa no Estado Endurecido

Segundo TAVAKOLI e SOROUSHIAN (1996), uma argamassa executada com resíduos recicláveis, terão reflexos em suas características mecânicas finais, tais como são as características dos materiais a serem reciclados, e, os percentuais de cada fração reciclada utilizada, pode determinar o desempenho final do produto.

4.7.3.1. Aderência

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

Segundo (CARVALHO JÚNIOR, 2005), a aderência argamassa-substrato sofre grande influência dos seguintes aspectos: das condições da base (porosidade, resistência mecânica, textura superficial); das condições de execução do assentamento de componentes da base; e da capacidade de retenção de água, da consistência e do teor de ar incorporado da argamassa.

A resistência de aderência à tração de uma argamassa é a “tensão máxima suportada por um corpo-de-prova de revestimento, na interface em avaliação, quando submetido a um esforço normal de tração” (NBR 13528, 2010).

De acordo com a norma NBR 13749 (ABNT, 1996b), o limite de resistência de aderência à tração (Ra) para o revestimento de argamassa (emboço e massa única) varia de acordo com o local de aplicação e tipo de acabamento, conforme a Tabela 14. A resistência de aderência à tração do revestimento pode ser medida através do ensaio de arrancamento por tração.

Tabela 14 - Limites da resistência de aderência à tração.

Local		Acabamento	Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	0,20
		Cerâmica ou laminado	0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	0,30
		Cerâmica	0,30
Teto			0,20

Fonte: ABNT, 1996.

4.7.3.2. Capacidade de absorver deformações

É a propriedade do revestimento de suportar tensões, sofrendo deformação sem ruptura ou fissuras não prejudiciais. As deformações podem ser de grande ou de pequena amplitude. O revestimento só tem a responsabilidade de absorver as deformações de pequena amplitude que ocorrem em função da ação da umidade ou da temperatura e não as de grande amplitude, provenientes de outros fatores, como recalques estruturais.

A capacidade de absorver deformações depende:

- a) do módulo de deformação da argamassa: quanto menor for o módulo de deformação (menor teor de cimento), maior a capacidade de absorver deformações;
- b) da espessura das camadas: espessuras maiores contribuem para melhorar essa propriedade, desde, no entanto, que não se tenham espessuras excessivas que possam comprometer a aderência;
- c) juntas de trabalho do revestimento: as juntas delimitam panos com dimensões menores, compatíveis com as deformações, contribuindo para a obtenção de um revestimento sem fissuras prejudiciais;
- d) da técnica de execução: a compressão após a aplicação da argamassa e a compressão durante o acabamento superficial, iniciado no momento correto, vão contribuir para o não aparecimento de fissuras;

4.7.3.3. Resistência mecânica

A resistência mecânica é a capacidade das argamassas de suportarem as tensões de tração, compressão ou cisalhamento às quais o revestimento pode estar sujeito. Esses esforços podem ser causados por cargas estáticas ou dinâmicas decorrentes do uso da edificação e por solicitações de fenômenos térmicos ou climáticos, dependendo das condições de exposição das superfícies. A resistência mecânica aumenta com a redução da proporção de agregado na argamassa e varia inversamente com a relação água/cimento da argamassa.

Segundo SILVA *al et.* (1997) a introdução de RCC, proveniente de restos de concreto, argamassas e blocos cerâmicos, como parte de agregado miúdo, não provocaram alterações desfavoráveis no comportamento quanto à resistência mecânica à compressão das argamassas em estudo. Assim, evidencia-se que o desempenho de tais argamassas se assemelha ao desempenho das argamassas tradicionais com uso de cal ou adições (arenoso e caulim).

ANVI (2010) apresenta resultados de ensaios de resistência à compressão, resistência de aderência com adição do resíduo (Tabelas 15 e 16). Não é informada a composição do resíduo usado (se de componentes cerâmicos ou de concreto), nem a relação a/aglomerantes. A relação cimento: agregado foi igual nos dois tipos de argamassa (1:8, em volume), sendo que a preparada com reciclado não recebeu cal hidratada, mas apenas cimento.

Tabela 15 - Resistência a compressão das argamassas.

Tipo de Argamassa	Composição do traço (Volume)	Compressão (MPa)	
		14 dias	28 dias
RCC	1: 2,7: 5,3 (cimento: RCC: areia)	4,0	7,9
Convencional	1: 1,6 : 8,0 (cimento: cal: areia)	1,2	2,7

Fonte: ANVI, 2010.

Tabela 16 - Resistência à aderência das argamassas.

Tipo de Argamassa	Composição do traço (volume)	Aderência (MPa)	
		14 dias	28 dias
RCC	1: 2,7: 5,3 (cimento: RCC: areia)	0,54	0,71
Convencional	1: 1,6 : 8,0 (cimento: cal: areia)	0,22	0,43

Fonte: ANVI, 2010.

4.7.3.4. Permeabilidade

A permeabilidade está relacionada à passagem de água pela argamassa de revestimento, que é um material poroso e permite a percolação da água tanto no estado líquido como de vapor. O revestimento deve ser estanque à água, impedindo a sua percolação. Mas, é recomendável que o revestimento seja permeável ao vapor para favorecer a secagem de umidade de infiltração ou decorrente da ação direta do vapor de água. Quando existem fissuras no revestimento, o caminho para percolação da água é direto até a base e, com isso, a estanqueidade da vedação fica comprometida.

Essa propriedade depende da natureza da base, da composição e dosagem da argamassa, da técnica de execução, da espessura da camada de revestimento e do acabamento final.

4.7.3.5. Durabilidade

Segundo CARVALHO JÚNIOR (2006), durabilidade é uma propriedade da argamassa no período de uso e consiste na capacidade de um revestimento argamassado manter o desempenho de suas funções ao longo do tempo. Existem alguns fatores que podem influir negativamente na durabilidade de um revestimento:

- a) movimentações de origem térmica, higroscópica ou impostas por forças externas, promovendo fissuração, desagregação (umidade) e descolamento dos revestimentos;
- b) espessura excessiva dos revestimentos, intensificando a movimentação higroscópica nas primeiras idades e ocasionando fissuras de retração, comprometendo a capacidade de aderência;
- c) técnica de execução, com revestimentos executados em múltiplas camadas e com sarrafeamento e desempenho realizado em momento inadequado;
- d) incompatibilidade química entre os componentes, tais como mistura de gesso e cimento promovendo formação de etringita, que apresenta expansibilidade indesejável, e incompatibilidade alcalina entre a base e certos tipos de tinta;
- e) cultura e proliferação de micro-organismos, que ocorrem, geralmente, em áreas permanentemente úmidas dos revestimentos, provocando manchas escuras.

4.7.4. Classificação e Caracterização do Revestimento de Argamassa

O revestimento de argamassa pode ser classificado como vedação horizontal ou vertical, interno ou exterior, aderente e monolítico. Também pode ser classificado como de uma única camada, denominado massa única; de duas camadas, denominadas emboço e reboco.

O revestimento constituído por uma única camada cumpre as funções de regularização da base e acabamento. Já o revestimento constituído por duas camadas, emboço e reboco, cada uma delas cumpre funções específicas, sendo o emboço uma camada de regularização da base e o reboco, uma camada de acabamento.

4.7.5. Características das Bases de Aplicação do Revestimento

Conforme MACIEL *et al.* (1998), as bases de aplicação dos revestimentos de argamassa em um edifício convencional são a estrutura de concreto armado e a alvenaria de vedação. A alvenaria de vedação é constituída por componentes que são os tijolos ou blocos. Dentre os componentes mais utilizados, estão diversos tipos de blocos, tais como cerâmico, de concreto, de concreto celular e o sílico-calcário. Cada um deles apresenta características próprias que influenciam no comportamento da alvenaria como um todo.

Absorção de água, porosidade, resistência mecânica, movimentações higroscópicas, rugosidade e homogeneidade são diferentes características das bases de aplicação que interferem, de forma significativa, nas propriedades do revestimento de argamassa, devendo ser consideradas desde o momento da definição da argamassa.

4.8. GESTÃO NO CANTEIRO DE OBRAS

Segundo CUNHA (2008), os resíduos no canteiro de obra são gerados por falta de capacitação de mão-de-obra e de gestão na operacionalização das atividades do canteiro de obra; quebras de produtos e ruptura de embalagens durante descargas, armazenagem e transporte; quebras durante execução de serviços, por falta de planejamento durante a modulação da obra; e quebras em serviços já executados, em função de erros de execução e projeto.

Segundo GRIGOLI (2001a; 2001b) a composição dos resíduos varia de acordo com a fase e o tipo da obra; normalmente, os resíduos recicláveis são compostos de areias (7,1%), pedras (11,5%), argamassas (29,15%), vítreos (3,34%), cerâmicas (32,14%), metais (1,76%) e outros materiais (15,01%).

A gestão nos canteiros contribui muito para não gerar resíduos, considerando que:

- a) o canteiro fica mais organizado e mais limpo;
- b) haverá a triagem de resíduos, impedindo sua mistura com insumos;
- c) haverá possibilidade de aproveitamento de resíduos antes de descartá-los;
- d) serão quantificados e qualificados os resíduos descartados, possibilitando a identificação de possíveis focos de desperdício de materiais.

Os aspectos considerados na gestão de resíduos abordados a seguir dizem respeito à organização do canteiro e aos dispositivos e acessórios indicados para viabilizar a coleta diferenciada e a limpeza da obra. No que se refere ao fluxo dos resíduos no interior da obra, são descritas condições para o acondicionamento inicial, o transporte interno e o acondicionamento final. Há considerações gerais sobre a possibilidade de utilização ou reciclagem dos resíduos dentro dos próprios canteiros. Finalmente, são sugeridas condições contratuais específicas para que empreiteiros e fornecedores, de um modo geral, formalizem o compromisso de cumprimento dos procedimentos propostos (SINDUSCON-SP, 2005).

4.8.1. Organização do Canteiro

Há uma profunda correlação entre os fluxos e os estoques de materiais em canteiro e o evento da geração de resíduos. Por conta disso, é importante observar:

4.8.1.1. Acondicionamento adequado dos materiais

É extremamente importante a correta estocagem dos diversos materiais, obedecendo a critérios básicos de:

- a) classificação;
- b) frequência de utilização;
- c) empilhamento máximo;
- d) distanciamento entre as fileiras;
- e) alinhamento das pilhas;
- f) distanciamento do solo;
- g) separação, isolamento ou envolvimento por ripas, papelão, isopor etc. (no caso de louças, vidros e outros materiais delicados, passíveis de riscos, trincas e quebras pela simples fricção);
- h) preservação da limpeza e proteção contra a umidade do local (objetivando principalmente a conservação dos ensacados).

A boa organização dos espaços para estocagem dos materiais facilita a verificação, o controle dos estoques e otimiza a utilização dos insumos.

Mesmo em espaços exíguos, é possível realizar um acondicionamento adequado de materiais, respeitando critérios de:

- a) intensidade da utilização;
- b) distância entre estoque e locais de consumo;
- c) preservação do espaço operacional.

4.8.1.2. A organização do canteiro e suas vantagens

A boa organização faz com que sejam evitados sistemáticos desperdícios na utilização e na aquisição dos materiais para substituição. Em alguns casos, os materiais permanecem espalhados pela obra e acabam sendo descartados como resíduos. A dinâmica da execução dos serviços na obra acaba por transformá-la num grande almoxarifado, podendo haver “sobras” de insumos espalhadas e prestes a se transformar em resíduos.

A prática de circular pela obra sistematicamente, visando localizar possíveis “sobras” de materiais (sacos de argamassa contendo apenas parte do conteúdo inicial, alguns blocos que não foram utilizados, recortes de conduítes com medida suficiente para reutilização, etc.), para resgatá-los de forma classificada e novamente disponibilizá-los até que se esgotem, pode gerar economia substancial. Isso permite reduzir a quantidade de resíduos gerados e otimizar o uso da mão-de-obra, uma vez que não há a necessidade de transportar resíduos para o acondicionamento. A redução da geração de resíduos também implica redução dos custos de transporte externo e destinação final.

4.8.2. Planejar a Disposição dos Resíduos

No âmbito da elaboração dos projetos de canteiro, deve ser equacionada a disposição dos resíduos, considerando os aspectos relativos ao acondicionamento diferenciado e a definição de fluxos eficientes.

Logo após a geração dos resíduos deverá ser realizada a triagem, assegurando a qualidade do resíduo sem contaminações, potencializando sua reutilização ou reciclagem.

Feita a triagem, os resíduos serão adequadamente acondicionados em baias e/ou depósitos apropriados, para que sejam aproveitados numa futura utilização no canteiro de obras ou fora deles. É importante que os funcionários sejam treinados e tornem-se conhecedores da classificação dos resíduos para executarem satisfatoriamente a triagem dos mesmos.

A prática da triagem não é uma tarefa difícil, pois a geração dos resíduos na obra acontece separadamente, em fases distintas e os mesmos podem ser coletados e armazenados temporariamente nos pavimentos. Após a triagem, os RCC devem ser estrategicamente distribuídos até que atinjam volumes tais que justifiquem seu transporte interno para o depósito final de onde sairão para a reutilização, reciclagem ou destinação definitiva. Os dispositivos de armazenamento mais utilizados na atualidade são as bombonas, *bags*, baias e caçambas estacionárias (Figura 4), que deverão ser devidamente sinalizados e informados o tipo de resíduos que cada um acondiciona.



(a) Bombonas



(b) Baias



(c) Caçambas



(d) Bags

Figura 4 - Dispositivos utilizados em canteiro

As bombonas são recipientes plásticos, geralmente na cor azul, com capacidade de 50L que servem principalmente para depósito inicial de restos de madeira, sacaria de embalagens plásticas, aparas de tubulações, sacos e caixas de embalagens de papelão, papéis de escritório, restos de ferro, aço, fiação, arames etc.

As *bags* se constituem em sacos de rafia com quatro alças e com capacidade aproximada de 1m³. As *bags* geralmente são utilizadas para armazenamento de serragem, isopor, restos de uniformes, botas, tecidos, panos e trapos, plásticos, embalagens de papelão etc.

Baias são depósitos fixos, geralmente construídos em madeira, em diversas dimensões que se adaptam às necessidades de espaço. São mais utilizadas para depósito de restos de madeira, ferro, aço, arames, isopor, serragem etc.

As caçambas estacionárias são recipientes metálicos com capacidade de 3 a 5m³ empregadas no acondicionamento final de blocos de concreto e cerâmico, argamassa, telhas cerâmicas, madeiras, placas de gesso, solo e etc.

O acondicionamento inicial deverá acontecer o mais próximo possível dos locais de geração dos RCC sempre se levando em conta o volume gerado e a boa organização do canteiro.

No caso das obras de pequeno porte, após gerados, os RCC deverão ser coletados, e levados diretamente para o depósito de acondicionamento final, devidamente segregados.

O transporte interno dos RCC entre o acondicionamento inicial e final geralmente é feito por carrinhos ou giricas, elevadores de carga, guias e guinchos.

A ideia da reutilização de RCC deve nortear o planejamento da obra desde a fase da concepção do projeto. O reaproveitamento das sobras de materiais dentro do próprio canteiro segue as recomendações da Agenda 21 e é a maneira de fazer

com que os materiais que seriam descartados com um determinado custo financeiro e ambiental retornem em forma de novos materiais e sejam reinseridos na construção evitando a retirada de novas matérias-primas do meio ambiente.

Para se cumprir esse objetivo, deve-se atentar para as recomendações das normas regulamentadoras (NBR 15.112, 2004; NBR 15,113, 2004 e NBR 15.114, 2004) e observar seus procedimentos para que os materiais estejam enquadrados no padrão de qualidade por elas exigidos para a reutilização.

Para tanto, as empresas podem lançar mão de parcerias com laboratórios de ensaios tecnológicos ou Instituições de Ensino para a realização de análises, ensaios e determinações dos produtos que serão empregados na utilização dos RCC.

Em relação à reciclagem, em canteiro, dos resíduos de alvenaria, concretos e cerâmicos, devem ser examinados os seguintes aspectos:

- a) volume e fluxo estimado de geração;
- b) investimento e custos para a reciclagem (equipamento, mão-de-obra, consumo de energia etc.);
- c) tipos de equipamentos disponíveis no mercado e especificações;
- d) alocação de espaços para a reciclagem e formação de estoque de agregados;
- e) possíveis aplicações para os agregados reciclados na obra;
- f) controle tecnológico sobre os agregados produzidos;
- g) custo dos agregados naturais;
- h) custo da remoção dos resíduos.

A decisão por reciclar resíduos em canteiro somente poderá ser tomada após o exame cuidadoso dos aspectos relacionados e uma análise da viabilidade técnico-econômica e financeira.

5. METODOLOGIA

Neste capítulo apresenta-se a metodologia desenvolvida para o alcance dos objetivos desta pesquisa. São relatadas as atividades desenvolvidas junto à PHV Engenharia, desde visitas ao canteiro de obras, acompanhamento de confecção e aplicação das argamassas com RCC na obra, vistoria visual, bem como os procedimentos de realização dos ensaios laboratoriais.

5.1. EDIFÍCIO JÚLIO VICENTE DA CRUZ – ESTUDO DE CASO

A pesquisa aqui proposta foi desenvolvida fundamentada em um estudo de caso, a obra do Edifício Júlio Vicente da Cruz executada pela Construtora PHV Engenharia, devido à disponibilidade para realização da pesquisa proporcionada pela empresa.

Também se levou em consideração que a empresa tem usado RCC em suas obras para confecção de argamassas usando o equipamento moinho/argamassadeira da marca ANVI, mas sem nenhum estudo de viabilidade técnica.

A Construtora, PHV Engenharia, atua no mercado de Engenharia Civil há 12 anos, é uma empresa 100% mineira com seus empreendimentos executados, principalmente em Belo Horizonte. Atua nas áreas de desenvolvimento e incorporações imobiliárias, execução de obras residenciais, comerciais e industriais de alto padrão, além de obras de infraestrutura e terraplanagem.

5.1.1. Características e Localização

O Edifício Júlio Vicente da Cruz (Figura 5) se localiza na Avenida Raja Gabaglia, 1580, Bairro Gutierrez, Belo Horizonte/MG (Figura 6 mapa de localização).



Figura 5 – Vista do Ed. Júlio Vicente da Cruz pela Av. Raja Gabaglia.

Fonte: PHV ENGENHARIA, 2010.

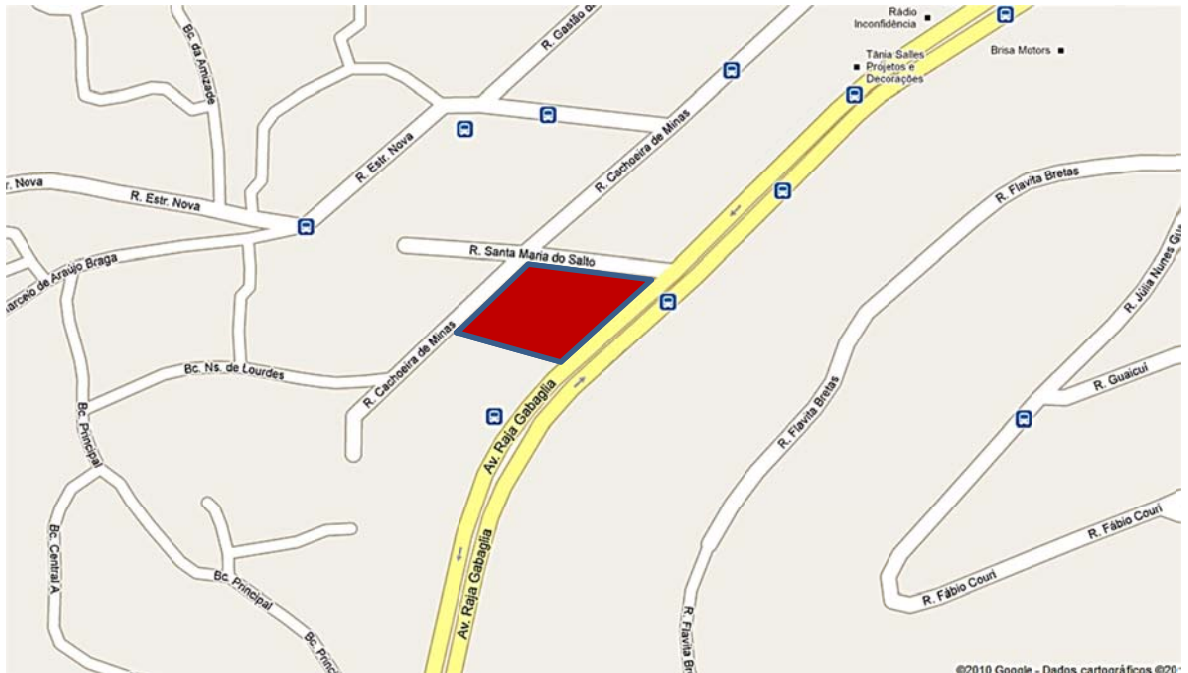


Figura 6 – Mapa de localização do Ed. Júlio Vicente da Cruz.

Fonte: GOOGLE MAPS, 2010.

5.1.2. Dados Coletados na Obra

Trata-se da obra de um edifício comercial inacabada nos anos 90 (Figura 7), retomada em agosto de 2009 pela Construtora PHV Engenharia, com área total construída de 14.485 m², sendo doze andares comerciais, dois andares com loja e sobreloja, dois andares de estacionamento, um pilotis com estacionamento e três andares técnicos.



Figura 7 – Vista do Ed. Júlio Vicente da Cruz pela rua Santa Maria do Salto com rua Cachoeira de Minas (anos 90).

Fonte: PHV ENGENHARIA, 2010.

Nas visitas à obra constatou-se que a empresa não dispunha de projeto de revestimento, contando-se apenas com memorial descritivo dos serviços. Segundo o memorial descritivo, destacam-se as seguintes especificações:

“as paredes internas e externas do edifício serão revestidas com argamassa no traço 1:1:7 (cimento : cal : areia), sobre base de chapisco no traço 1:3 (cimento : areia), desempenada com desempenadeira de madeira; os revestimentos deverão apresentar perfeitamente desempenados, aprumados, alinhados, nivelados e em esquadro com as arestas vivas; as espessuras dos revestimentos deverão ser no mínimo de 1,5 cm e no máximo 2,5 cm” (PHV ENGENHARIA, 2010).

Constatou-se, nas visitas, que os traços das argamassas especificadas foram definidos pela experiência do mestre/encarregado responsável pela execução do revestimento em função de bons resultados obtidos pela construtora em outras obras. Eram utilizados dois traços:

- a) Argamassa 1: 1: 7 (cimento: cal: areia) conforme especificações do memorial descritivo, a argamassa era confeccionada utilizando betoneira de eixo inclinado;
- b) Argamassa 1: 4,5: 2,5 (cimento: RCC: areia), a argamassa era confeccionada utilizando o moinho/argamassadeira ANVI500.

Os dois tipos de argamassas utilizados foram aplicados tanto no revestimento interno quanto no externo.

Foi feita uma vistoria em locais onde já haviam sido aplicadas as duas argamassas para verificar se haviam manifestações patológicas nos revestimentos, porém, nenhuma manifestação foi constatada.

5.2. MOINHO/ARGAMASSEIRA ANVI500

Para confecção da argamassa com RCC a construtora PHV Engenharia utiliza o moinho/argamassadeira. Também conhecido como moinho de rolo ou moinho de galgas, é usado somente para reciclagem na própria obra. O equipamento permite uma boa cominuição de materiais, como restos de alvenaria e argamassas (GONÇALVES, 2001; LIMA, 1999; PINTO, 1999). É um equipamento móvel e de pequeno porte, que está à disposição do setor de construção há mais de 100 anos. Segundo LIMA (1999), este equipamento começou a ser usado no Brasil em 1980 em escala mais significativa, com o início da reciclagem de resíduos de construção.

O fabricante forneceu catálogos contendo as informações técnicas do equipamento, que é um moinho e misturador de argamassas (Figura 8) que são utilizados na execução de alvenaria, revestimentos e enchimento de pisos.



Figura 8 – Moinho / argamassadeira ANVI500.

Conforme dados fornecido pelo fabricante , a maior vantagem do equipamento é transformar as despesas em receitas (ANVI, 2010):

“ANVI500 é um moinho e misturador de argamassas, que são utilizados na execução de alvenarias, revestimentos e enchimento de pisos. Proporciona uma economia de 30% da mão de obra, 50% do cimento, 40% da areia, 80% do cal e 97% das despesas do ‘bota fora’ de entulho”.

As matérias primas utilizadas são: cimento, RCC (blocos cerâmicos e de concreto triturados, tijolos e restos de argamassa), areia e água. A argamassa obtida é da melhor qualidade, estando pronta para ser utilizada (ANVI, 2010).

Pela ação intensa dos rolos de 600 kg cada um, a argamassa obtida tem muita plasticidade, trabalhabilidade e coesão. Estas excelentes características estão dadas por: a) produção de finos durante a moagem, os quais geram a liga entre os grãos de areia, e preenchendo os vazios, aumentam a impermeabilidade; b) mistura perfeitamente homogênea. O cimento reveste os grãos de areia de forma homogênea.

Permite a produção de uma ótima massa fina, utilizando cal e areia sem a necessidade de peneiramento, pois os maiores grãos são cominuídos pelos rolos moedores (ANVI, 2010).

A Tabela 17 mostra as características técnicas do moinho/argamassadeira fornecida pelo fabricante.

Tabela 17 - Características técnicas do moinho/argamassadeira.

Capacidade da Caçamba	500 litros de argamassa 2m ³ / hora
Produção	2 m ³ /hora
Dimensões	Comprimento: 2,75 m Largura: 1,90m Altura total: 1,50 m
Peso Líquido Aproximado	2.500 Kg
Rolos Moedores/ Misturadores	Ø 80 cm x 25 cm (larg.) x 600 Kg cada um
Motor Elétrico Blindado	7,5 HP - 220/380 Volts - Trifásico.

Fonte: ANVI, 2010.

5.3. MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

5.3.1. Cimento *Portland* CP III 32 - RS

Para realização do procedimento experimental, utilizou-se o cimento CP III 32 – RS, adquirido no mercado de Belo Horizonte em sacos de 50 kg, e um dos mais usados em obras da região. É um aglomerante hidráulico obtido pela mistura homogênea de clínquer Portland e escória granulada de alto-forno, moídos em conjunto ou em separado (NBR 5735, 1991). A composição do cimento deve estar compreendida entre os limites fixados na Tabela 18 e as exigências físicas e químicas indicadas nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 18 - Teores dos componentes do cimento Portland de alto-forno.

Sigla	Classe de resistência	Componentes (% em massa)		
		Clínquer + sulfatos de cálcio	Escória granulada de alto-forno	Material Carbonático
CP III	25	65-25	35-70	0-5
	32			
	40			

Fonte: ABNT, 1991.

Tabela 19 - Exigências físicas e mecânicas - CP III 32.

Características e propriedades	Unidade	Limites	
Finura (Resíduo na peneira 75µm)	%	8,0	
Tempo de início de pega	h	1	
Fim de pega	h	12	
Expansibilidade a quente	mm	5	
Resistência à Compressão	3 dias de idade	MPa	10,0
	7 dias de idade	MPa	20,0
	28 dias de idade	MPa	32,0

Fonte: ABNT, 1991.

Tabela 20 - Exigências químicas - CP III 32.

Determinações químicas	Limites (% da massa)
Perda ao fogo (PF)	4,5
Resíduo insolúvel (RI)	1,5
Trióxido de enxofre (SO ₃)	4,0
Anidrido carbônico (CO ₂)	3,0

Fonte: ABNT, 1991.

5.3.2. Cal

Foi utilizada cal hidratada CH-I (NBR 7175, 2003), adquirida no mercado de Belo Horizonte.

5.3.3. Água

A água utilizada para a confecção das argamassas foi a água potável disponibilizada pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) na região metropolitana de Belo Horizonte.

5.3.4. Areia Natural

Na confecção das argamassas utilizou-se areia natural disponível na região metropolitana de Belo Horizonte. Sua caracterização granulométrica foi realizada no Laboratório de Concreto da UFMG.

5.3.5. Resíduos da Construção Civil (RCC)

Os RCC utilizados nesta pesquisa foram oriundos do Ed. Júlio Vicente da Cruz (canteiro de obras da construtora PHV Engenharia). Conforme Figura 9, nota-se a predominância de argamassas pelo fato das novas adaptações feitas no edifício onde muitos contrapisos foram quebrados.



Figura 9 - Composição do RCC.

5.4. COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir da caracterização dos materiais utilizados para posteriormente serem confeccionadas argamassas de revestimento. Foram estudados os traços conforme Tabela 21.

Tabela 21 - Composição de traço.

Argamassa	Traço 1:7 (em volume)			
	Cimento	Cal	RCC	Areia
1	1	1	-	7,0
2	1	-	4,5	2,5
3	1	1	4,5	2,5
4	1	-	4,5	2,5
5	1	-	7,0	-

Quando da execução das misturas, os traços em volume foram convertidos para traços em massa e as dosagens foram feitas pesando-se os materiais constituintes, para evitar os erros de medida inerentes à quantificação em volume. Esta transformação seguiu os seguintes passos.

Os proporcionamentos dos materiais, em massa, foram definidos de acordo com a massa unitária de cada material utilizado na produção das argamassas. Para as argamassas de referencia observa-se através da Equação 1, o proporcionalmente dos materiais, sendo “1” unidades de volume de cimento, “c” unidades de volume da cal e “a” unidades de volume da areia. Para os traços com RCC têm-se na Equação 2, “1” unidades de volume de cimento, “c” unidades de volume cal, “r” unidades de volume de RCC e “a” unidades de volume da areia.

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

$$1 : c : r : a \quad (\text{Equação 3.2})$$

De acordo com a NBR 7251 (ABNT, 1982) que define massa unitária de um agregado no estado solto com sendo a relação entre a massa do material colocado em um recipiente e o volume deste recipiente. Então para facilitar a transformação do proporcionamento dos materiais de volume para massa, faz se a multiplicação das unidades de volume de cada material do traço por suas respectivas massas unitárias, este procedimento esta apresentado nas Equações 3 e 4.

$$1 \cdot \text{Mucim} : c \cdot \text{Mucal} : a \cdot \text{Muareia} \quad \text{(Equação 3)}$$

$$1 \cdot \text{Mucim} : C \cdot \text{Mucal} : r \cdot \text{MuRCC} : a \cdot \text{Muareia} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

Mucim: massa unitária do cimento (g/cm^3)

Mucal: massa unitária da cal (g/cm^3)

MuRCC: massa unitária do RCC (g/cm^3)

Muareia: massa unitária da areia (g/cm^3)

Ao transformar cada unidade de volume em unidade de massa que corresponde as Equações 3 e 4, dividem-se estas pela massa unitária do cimento de forma que se obtenha uma unidade de massa de cimento para os traços de referencia e para as com RCC o valor correspondente ao percentual de substituição do RCC, logo a Equação 5 e 6 demonstra tal procedimento respectivamente.

$$\text{Mucim}/ \text{Mucim} : \text{Mucal}/ \text{Mucim} : \text{Muareia}/\text{Mucim} \quad \text{(Equação 5)}$$

$$\text{Mucim}/\text{Mucim} : \text{Mucal}/\text{Mucim} : \text{MuRCC}/\text{Mucim} : \text{Muareia}/\text{Mucim} \quad \text{(Equação 6)}$$

Os valores desta transformação podem ser conferidos na Tabela 22, onde estão os traços em volume e em massa.

Tabela 22 - Valores dos traços em volume e em massa.

Argamassa	cimento: cal: RCC: areia (volume)	cimento: cal: RCC: areia (massa)
1	1 : 1 : 0 : 7,0	1 : 0,5 : 0 : 9,6
2	1 : 0 : 4,5 : 2,5	1 : 0 : 5,5 : 3,4
3	1 : 1 : 4,5 : 2,5	1 : 0,5 : 5,5 : 3,4
4	1 : 0 : 4,5 : 2,5	1 : 0 : 5,5 : 3,4
5	1 : 0 : 7,0 : 0	1 : 0 : 8,5 : 0

A argamassa 1 foi feita com agregado natural reproduzindo o traço usado na obra, servindo de parâmetro de comparação para outras argamassas. A argamassa 2 foi confeccionada utilizando o moinho/argamassadeira ANVI500 para a cominuição do RCC feita simultaneamente a preparação da argamassa. Somente a argamassa 2 foi confeccionada no canteiro de obras, as outras argamassas foram confeccionadas no laboratório. Nas argamassas 3, 4 e 5 foram feitas proporções de substituição do agregado natural por agregado reciclado visando a análise da influência do teor da substituição sobre as propriedades da argamassa. Para obter areia de RCC para as argamassas 3, 4 e 5 foi feita cominuição manual.

O teor de água das misturas foi determinado por tentativas, adicionando-se gradualmente a água, até que a argamassa adquirisse uma plasticidade condizente com a aplicação em revestimento. Para maior controle e uniformidade da consistência realizou-se o ensaio seguindo as prescrições da NBR 13276 (ABNT, 2005b), utilizando-se a mesa de espalhamento.

5.4.1. Cominuição do RCC para Argamassas 3, 4 e 5.

No laboratório, apenas foi aproveitada a fração de grãos do RCC que passava na peneira de abertura de malha de 2,4 mm, para análise das possibilidades de uso, com substituição total ou parcial dos agregados convencionais, em argamassas para revestimento. Almejou-se a comparação do desempenho dessas misturas com os das argamassas produzidas com agregados convencionais no canteiro de obras da construtora. A empresa utilizava, para argamassa de revestimento, o

traço em volume 1:1:7 (cimento: cal: areia) e traço 1:4,5:2,5 (cimento : RCC: areia). Os agregados naturais para mistura de referência e para traços com substituição parcial, para revestimento, foram os mesmos usados pela empresa.

O RCC para as argamassas 3, 4 e 5 fora coletado na obra e feito cominuição manual usando-se uma marreta e um pedaço de trilho de ferro (Figuras 10 e 11), peneirado na peneira de malha com abertura 2,4 mm, a fim de se excluir partículas com diâmetros superiores.



Figura 10 – Cominuição manual de RCC.



Figura 11 – Agregado miudo de RCC passante na peneira 2,4 mm.

5.4.2. Caracterização Física

Pode-se dizer que a análise granulométrica do agregado é o principal método de ensaio utilizado para se avaliar os diferentes tipos de agregados que compõem as argamassas revestimento. Este consiste na determinação das dimensões das partículas e das proporções relativas em que elas se encontram na composição.

Um dos principais parâmetros utilizados na classificação de uma areia para uso em argamassas é o módulo de finura. Por definição, este parâmetro é o resultado da soma das frações retidas acumuladas, divididas por 100, obtidas durante o ensaio de granulometria, utilizando a série normal de peneiras.

Nesta pesquisa os materiais (RCC e areia natural) utilizados passaram por um processo de caracterização física (Granulometria, Módulo de finura), conforme NBR 248 (ABNT, 2003).

5.5. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

5.5.1. Determinação do índice de consistência das argamassas

A mesa de espalhamento foi o método empregado nesta pesquisa para avaliar a consistência das argamassas, por ser o mais empregado e difundido (Figura 12) em argamassas.



Figura 12 – Equipamento para ensaio de consistência.

O índice de consistência adotado foi igual (300 ± 20) mm, por ser o adotado pela Construtora PHV Engenharia e o mais usual em suas obras. O ensaio de consistência foi realizado no Laboratório de Concreto do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

5.5.2. Retenção de água

Define-se a retenção de água como a capacidade da argamassa de manter sua consistência no estado fresco na perda de água (evaporação, sucção, absorção pelo componente). A ineficiência nessa propriedade diminui a resistência mecânica do material no estado endurecido, devido à perda da água necessária para hidratação dos compostos do cimento nas primeiras idades.

Esse método de ensaio é descrito pela NBR 13277 (ABNT, 2005). Para se realizar esse ensaio, utilizou-se um molde de aço (Figura 13) nas dimensões de 100mm de diâmetro e 25mm de altura (medidas internas), que foi pesado em balança com resolução de 0,1g (registro da massa: Mm). Todos os itens usados foram pesados na mesma balança (discos de papel-filtro secos - 85g/cm² e 110mm de diâmetro).

Preencheu-se o molde com argamassa usando-se uma espátula em 10 camadas iguais até formar um pequeno abaulado (arrasado posteriormente). O molde com argamassa foi pesado na balança com resolução de 0,1g (registro da massa: Mma). Sob a superfície da argamassa, colocaram-se duas telas de gaze (110mm), o conjunto de discos de papel filtro e uma placa rígida (110mm de diâmetro, 5mm de espessura). Colou-se sobre a placa rígida um peso de 2kg. Em seguida, contaram-se 2 minutos da aplicação do carregamento e retiraram-se o peso de 2kg e a placa rígida. O conjunto de papéis-filtro foi retirado e imediatamente pesado na balança com resolução de 0,01g (registro de massa: Mf).



Figura 13 – Dispositivos necessários para determinação da retenção de água.

5.5.3. Massa específica e ar incorporado

A massa específica é a relação entre a massa do material sólido e seu volume (sem vazios). A massa específica aparente também é definida da mesma forma, só que considerando o volume de vazios. A massa unitária é a massa de um material que ocupa um recipiente com capacidade predeterminada e calibrada.

Para determinação da massa específica, geralmente preenche-se de argamassa um recipiente cilíndrico, rígido, de volume e massa conhecido e calibrado. Após o adensamento e o arrasamento da superfície da argamassa e a limpeza externa do copo, é determinada a massa do conjunto (copo + argamassa).

No mesmo momento da realização do teste de determinação da massa específica, determinou-se também o teor de ar incorporado pelo método pressométrico, que é mais simples e baseia-se na relação entre a pressão e o volume em uma dada temperatura. Tal ensaio foi baseado no procedimento da norma NM 47 (ABNT, 2002). Foi usado neste trabalho um aparelho da marca SOLOTEST, específico para argamassas, com capacidade de 5 litros, conforme mostrado na Figura 14 (a) e (b).



(a)



(b)

Figura 14 – Equipamento utilizado no ensaio de ar incorporado.

Para a realização desse ensaio, é necessário o preenchimento do recipiente base com a amostra de argamassa adicionada em 3 camadas de volume aproximadamente igual, adensando-as através da aplicação de 25 golpes verticais uniformemente distribuídos em cada camada, com uma barra lisa de 15 mm de diâmetro e extremidades semiesféricas. Depois de rasar o excesso de argamassa com uma régua metálica, acopla-se a tampa sobre o recipiente base, mantendo a torneira aberta. Coloca água através do funil, até que todo o ar seja expelido pela torneira. Com uma bomba de ar que está acoplada à tampa, dá-se pressão até o início de “pressão inicial”, marcado ao calibrar o equipamento e verifica-se se todas as saídas estão completamente fechadas. Em seguida, pressiona-se a alavanca que transfere a pressão para o recipiente base, mantendo-a pressionada por alguns segundos, até o ponteiro se estabilizar. Enfim, lê-se diretamente no manômetro a porcentagem de ar existente no material.

5.6. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

5.6.1. Moldagem dos CP's em laboratório

Os materiais foram homogeneizadas em um misturador mecânico de eixo vertical com capacidade de 5 litros seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 7215 (ABNT, 1996). Em seguida os corpos de prova foram moldados utilizando moldes cilíndricos com dimensões 5 x10 cm de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996). Após 24 horas, os CP's foram desmoldados, identificados e em seguida submetidos a cura úmida por 27 dias. Os procedimentos seguidos para moldagem das argamassas estão apresentados nas Figuras 15 e 16.



Figura 15 - Misturador mecânico.



Figura 16 – Moldagem dos CP's no laboratório.

5.6.2. Confeção e Aplicação da Argamassa com RCC no Canteiro de Obras

O RCC foi utilizado sem nenhum beneficiamento preliminar com o intuito de verificar a possibilidade de seu uso exatamente como encontrado no canteiro de obras da construtora. Conforme mostra a Figura 17, há predominância de argamassas (contrapisos e reboco), pequeno percentual de cerâmica vermelha e uma quantidade mínima de concreto.



Figura 17 – RCC sendo colocado no moinho/argamassadeira.

O teor de água da argamassa foi determinado por tentativas, adicionando-se gradualmente a água, até que a argamassa adquirisse uma plasticidade condizente com a aplicação em revestimento de paredes. As Figuras 18 e 19 mostram a sequências na confecção da argamassa.



Figura 18 – Cominuição do RCC pelo moinho/argamassadeira.



Figura 19 – Argamassa confeccionada.

5.6.2.1. Moldagem de CP's e aplicação da argamassa em parede

Após moldagem dos CP's (Figura 20) para avaliação de resistência à compressão aos 28 dias, a argamassa 2 foi aplicada (camada única com espessura de 2 cm) num parede de blocos cerâmicos (Figura 21), chapiscada com traço 1:3 (cimento: areia) da loja no Ed. Júlio Vicente da Cruz, seguindo as técnicas padrão da construção civil (aplicação, sarrafeamento e desempeno), tendo como objetivo os ensaios de arrancamento e permeabilidade à água.



Figura 20 - Moldagem dos CP's de argamassa (em obra).



(a)



(b)

Figura 21 – Aplicação e desempenada da argamassa 2.

5.6.3. Cura dos CP's

Após 24 horas da moldagem, os CP's foram desmoldados e submetidos à cura final no Laboratório de Concreto da UFMG. Os CP's das argamassas 2, 4 e 5 foram submersos (Figura 22) em um tanque com água e os CP's das argamassas 1 e 3 ficaram na câmara úmida.

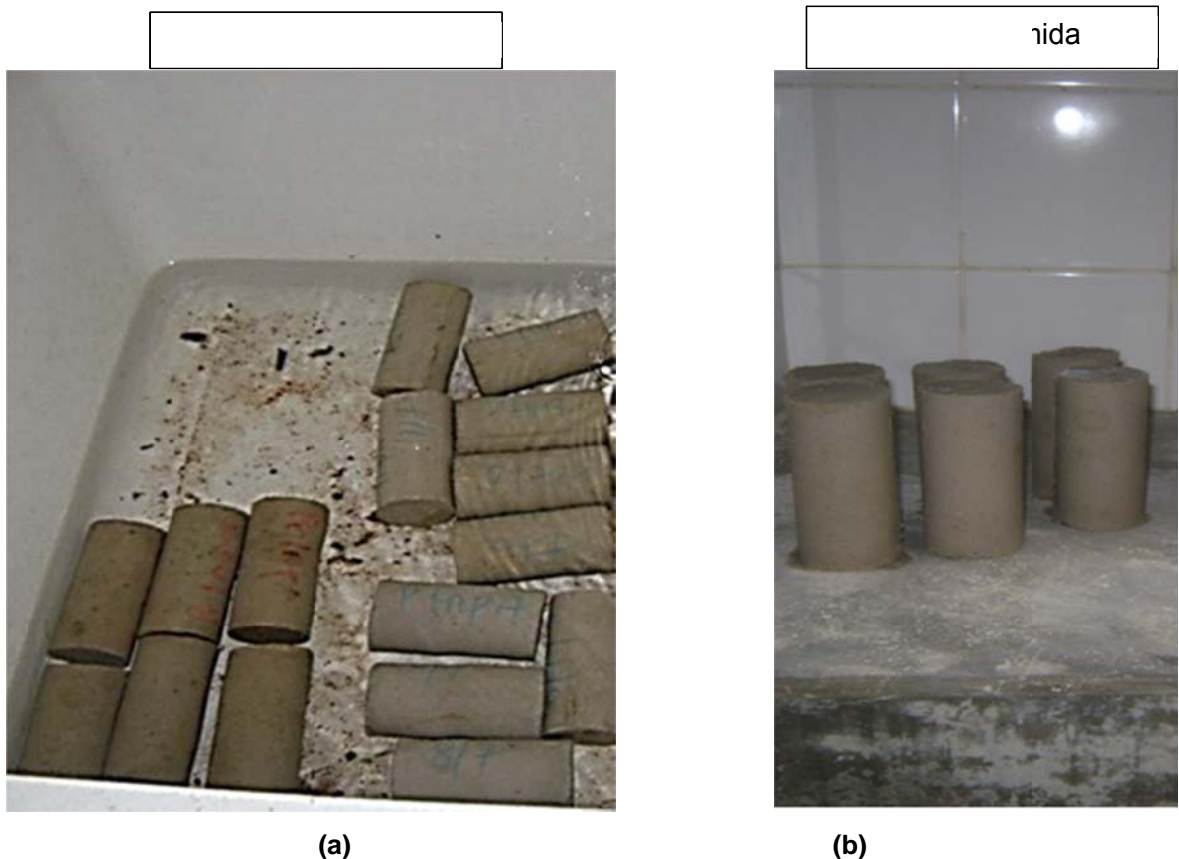


Figura 22 - CP's submetidos a cura final: (a) das argamassas 1, 3 e 5; (b) das argamassas 2 e 4.

5.6.4. Capeamento dos CP's

Aos 28 dias os CP's foram retirados da câmara úmida, capeados com mistura de enxofre (Figura 23) e rompidos para determinação da resistência à compressão axial (tensão de ruptura), que corresponde à carga de ruptura dividida pela área da seção do CP.



Figura 23 – Capeamento dos CP's com mistura de enxofre.

5.6.5. Resistência à Compressão Axial

O ensaio para determinar a resistência à compressão axial foi realizado em corpos de prova com dimensões 5 x 10 cm (diâmetro x altura), para a idade de 28 dias, seguindo todas as prescrições indicadas pela NBR 7215 (ABNT, 1996). Utilizou-se 4 corpos de prova de cada argamassa moldada e determinou-se o valor médio. Para a realização deste ensaio, utilizou-se uma prensa de compressão axial EMIC PC200 (Figura 24), com sistema de medição de carga direta, por meio de célula com capacidade de carga de 200 tf e sensibilidade de 10N. A prensa funciona acoplada a microcomputador e em conjunto com o software TESC-EMIC, que permite a realização de ensaios com taxa de incremento de carga constante ou manutenção de carga, com emissão de relatório final já contendo os valores da tensão de ruptura de cada CP e da resistência média. O ensaio de consistência foi realizado no Laboratório de Concreto do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção (DEMC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

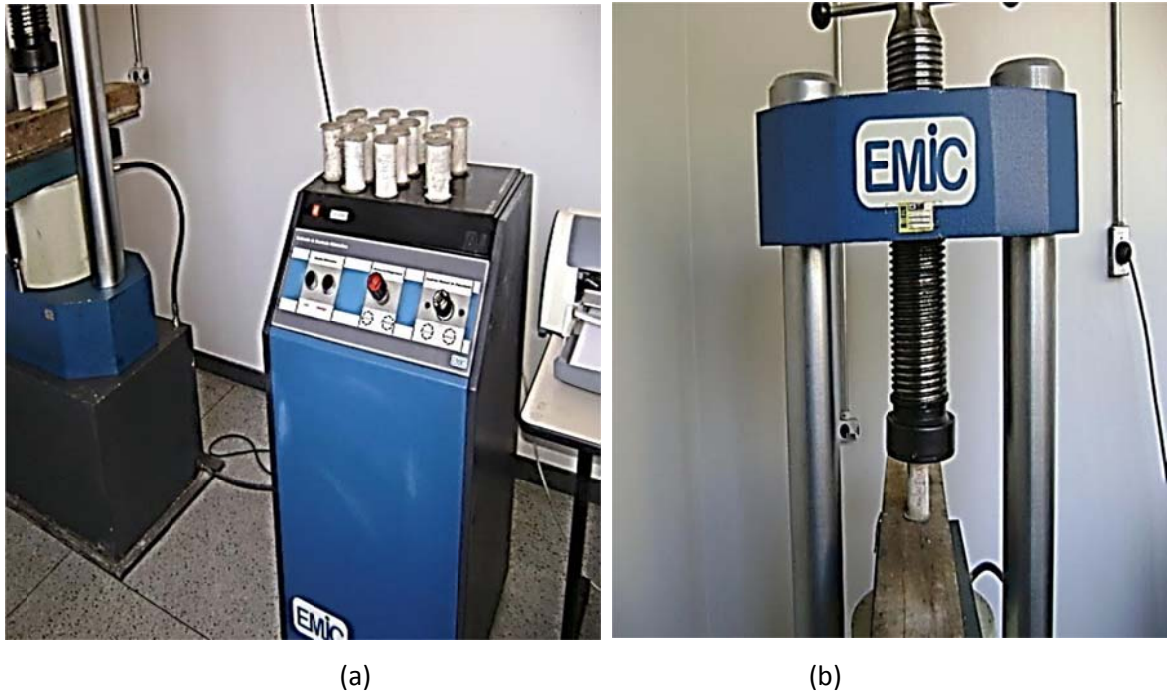


Figura 24 - Prensa EMIC PC200: (a) vista geral; (b) vista detalhada.

5.6.7. Ensaios de Caracterização da Argamassa Aplicada Sobre a Base

5.6.7.1. Resistência de aderência à tração determinada através do ensaio de arrancamento.

A resistência de aderência à tração avalia a capacidade das argamassas suportarem aos esforços normais de tração. Geralmente os resultados desse tipo de ensaio são variáveis, por causa da resistência ao arrancamento ser medida na interação argamassa/substrato, dependendo, portanto, das características de ambos. Seguindo as recomendações da NBR 13528 (ABNT, 1995), foram ensaiados, em uma das lojas no primeiro andar do Ed. Júlio Vicente da Cruz, frente para Av. Raja Gabaglia (Figura 25), seis CP's de seção circular – com 50 mm de diâmetro, com idade de 28 dias, espaçados entre si e dos cantos ou quinas em, no mínimo, 50 mm. Inicialmente, com serra-copo, foram feitos os seis cortes no revestimento de argamassa com RCC e limpam-se as superfícies dos CP's para, em seguida, as pastilhas (placas metálicas) serem coladas com cola à base de resina epóxi no revestimento (Figura 26).

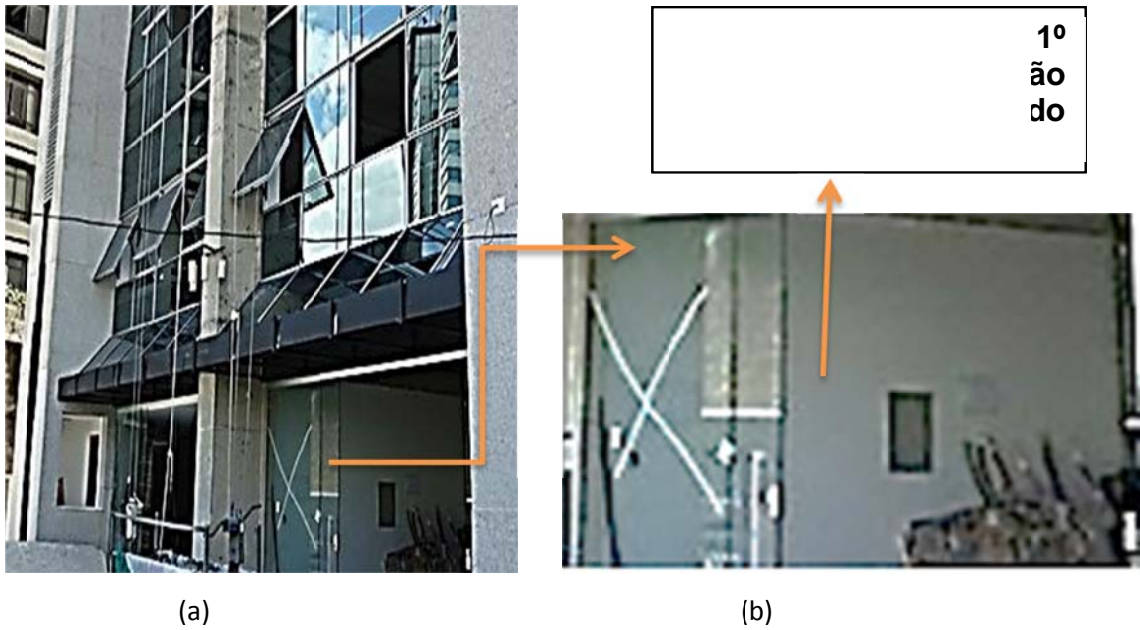


Figura 25 – Local onde o ensaio foi realizado: (a) Vista geral da Loja; (b) parede onde foi feito o arrancamento.



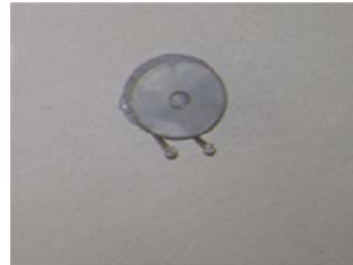
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 26 – Sequência de colagem das pastilhas: (a) Cortes das superfícies dos CP's; (b) suportes para auxiliar na sustentação inicial das pastilhas; (c) cola à base de resina epóxi é passada na pastilha; (d) colagem das pastilhas.

Decorridas às 24 horas da colagem, o equipamento ROCEQ DYNA Z16 Pull-off Tester digital foi acoplado a cada pastilha, que foi tracionada até o arrancamento do CP.(Figura 27). Este equipamento fornece leitura direta da tensão obtida no ensaio, correspondente à divisão da carga de ruptura pela área da pastilha.

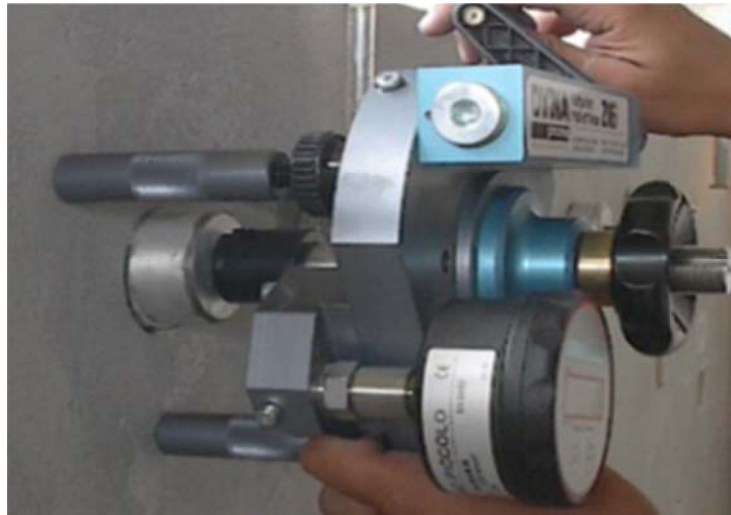


Figura 27 – Arrancamento de um CP com o equipamento de tração PROCEQ DYNA Z16.

5.6.7.2. Permeabilidade à água

Seguindo as prescrições do CSTC (1982 apud CARVALHO JÚNIOR, 2005), foi utilizado o método do cachimbo para avaliação da permeabilidade em três pontos distintos do revestimento (argamassa 2), localizados em uma loja do 1º andar do Ed. Júlio Vicente da Cruz.

Neste ensaio, um cachimbo de vidro (com pescoço graduado) é acoplado com mástique às superfícies a serem ensaiadas e preenchidas com água até a referência do nível. Em seguida, fazem-se registros, a cada minuto, do nível de água, até completar quinze minutos ou o nível de água atingir 4 cm³ (Figura 28).



Figura 28 – Ensaio de Permeabilidade à água com cachimbo de vidro.

5.6.7.3. Caracterização da massa específica Componentes da Argamassa Traço 2

Segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2003c), massa específica é a relação entre a massa do agregado e seu volume, excluídos os poros permeáveis. No Laboratório de Concreto do DEMC (UFMG), foi determinada a massa específica da argamassa 2.

O frasco Chapman (Figura 29) consiste em um frasco de vidro, composto de dois bulbos e de um gargalo graduado. No estrangulamento entre os bulbos, há uma marcação que corresponde a 200 cm³ e, acima dos bulbos, situa-se o tubo graduado de 375 cm³ a 450 cm³.



Figura 29 – Frasco Chapman

Na execução do ensaio, deve-se colocar água no frasco até a marca de 200 cm³, deixando-o em repouso por alguns minutos, para que a água aderida às faces internas escorra totalmente. Em seguida, acrescentar 500 g do agregado miúdo seco no frasco, que deve ser agitado para eliminação de bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água no gargalo indica o volume, em cm³, do conjunto água-agregado; assim, obtém-se o volume do agregado pela diferença entre o volume do conjunto e o de água adicionada ao frasco. A massa específica é calculada dividindo-se a massa da amostra seca pelo volume do agregado.

5.6.8. Caracterização Mineralógica dos Componentes da Argamassa 2

5.6.8.1. Moagem e peneiramento

Para a realização dos ensaios de caracterização mineralógica da argamassa 2, foram realizados a moagem e o peneiramento de dois CP's (5 x 10 cm) que foram confeccionados para o ensaio de resistência à compressão axial.

No Laboratório de Tratamento de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas (DEMIN) da UFMG, foi realizada a moagem do material, por cerca de 40 minutos, no moinho de disco orbital TECNAL TE-360, equipamento também conhecido como moinho de porcelana (Figura 30). Em seguida, foi feito o peneiramento da amostra na peneira # 400.



Figura 30 – Moagem de uma amostra de material no moinho de disco orbital TECNAL TE-360.

5.6.8.2. Difração de raios-X (DRX)

Dos métodos de DRX, o do pó é o de uso mais amplo e é o utilizado pelo difratômetro de raios-X (BRANDÃO, 2007a). Em sua operação, o instrumento gera os raios-X que incidem sobre as amostras em pó; os raios difratados são recebidos por um detector, que os transforma em pulsos elétricos, os quais vão a um sistema de análise que identifica os picos e possibilita a identificação das fases cristalinas do material. Conhecendo-se o comprimento de onda das radiações X, é possível, pelo emprego da equação de Bragg ($n\lambda = 2d \cdot \sin\theta$), determinar os valores das distâncias interplanares (d) para cada banda de difração. O difratômetro se caracteriza por incluir um medidor de intensidade dos raios difratados a diversos ângulos 2θ (FORMOSO, 1984).

No Laboratório de Análise por Raios-X do DEMIN (Departamento de Engenharia de Minas da UFMG), com amostra da argamassa 2, o ensaio de DRX foi realizado utilizando-se o difratômetro de raios-X PHILIPS PW-3710 (Figura 31), que utiliza tubo de anodo de cobre.



Figura 31 - Difratômetro PHILIPS PW-3710.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo, os resultados das propriedades da areia natural e do RCC utilizados são discutidos e comparados entre si. Em seguida, também são apresentados, discutidos e comparados os resultados dos ensaios realizados na determinação das propriedades das argamassas estudadas.

6.1. COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS

A Tabela 23 e Figura 32 mostram as distribuições granulométricas da areia natural e do RCC. Observe-se que o módulo de finura da areia natural (1,82) não se encaixa na zona ótima, ficando na zona utilizável inferior (1,55 a 2,20). O módulo de finura do RCC (2,42) está dentro do intervalo (2,40 a 2,90) da zona ótima de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009). Comparando o módulo de finura do areia com o do RCC, areia mostra-se mais fina do que RCC.

Tabela 23 - Distribuições granulométricas da areia e do RCC.

Peneiras (mm)	Areia natural			RCC		
	Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada	Retida (g)	% Retida	% Retida Acumulada
4,8	0	0	0	0	0	0
2,4	1	0	0	6,7	1	1
1,2	44,9	5	5	202,7	20	21
0,6	219,3	22	27	321,4	32	53
0,3	343,0	34	61	239,2	24	77
0,15	278,5	28	89	131,9	13	90
Fundo	113,3	11	100	98,1	10	100
Total	1000	100	-	1000	100	-
Dimensão máxima característica			Areia natural	1,2 mm	RCC	2,4 mm
Módulo de finura				1,82		2,42
Zona granulométrica			Zona utilizável inferior		Zona ótima	

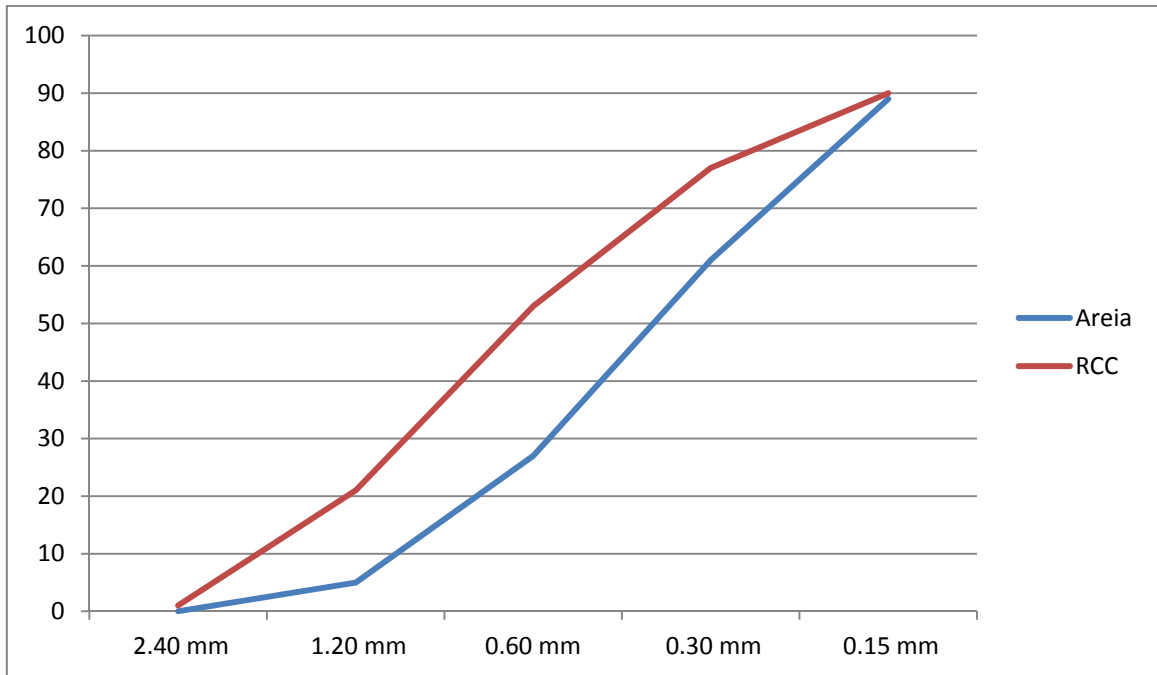


Figura 32 - Comparação entre as distribuições granulométrica da areia e do RCC.

De acordo com os valores obtidos esta areia e o RCC são considerados bem graduados, favorecendo positivamente sua utilização em argamassas por promover uma melhor trabalhabilidade e uma pequena quantidade de vazios entre os grãos.

A areia e o RCC foram avaliados quanto aos quesitos teor de materiais pulverulentos (NBR 7219/1996b. Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos - Método de ensaio) e teor de impurezas orgânicas (NBR 7220/1987b. Agregado – Determinação das impurezas orgânicas em agregado miúdo), tendo sido recomendados para utilização em argamassas por se enquadrar em todos os parâmetros requeridos (Tabela 24).

Tabela 24 - Características da areia natural e do RCC.

Determinações	Valores obtidos		Método de ensaio
	Areia natural	RCC	
Massa unitária (g/cm ³)	1,51	1,33	NBR 7251/1982
Massa específica (g/cm ³)	2,61	2,51	NBR 9776/87
Teor de material pulverulento (%)	1,5	2,3	NBR 7219/1996b
Absorção de água (%)	2,5	8,9	NBR NM 30/2001
Impureza orgânica	ausente	Ausente	NBR 7220/1987b

Analisando os resultados obtidos na Tabela 24, para massa unitária verifica-se que o valor encontrado foi de 1,51 g/cm³ e do RCC 1,33 g/cm³. O resultado obtido para massa específica da areia foi de 2,61g/cm³ e a massa específica do RCC 2,51 g/cm³.

O teor de materiais pulverulentos encontrados nesta pesquisa foi de 1,5% para areia e 2,3% para o RCC, podendo-se dizer que tanto a areia como o RCC apresentam poucos finos, não prejudicando desta forma na quantidade de água a ser utilizada para obtenção da consistência adequada, pois o aumento da quantidade de água intensificaria a retração e diminuiria a resistência das argamassas.

A absorção do RCC (8,9%) foi maior que da areia (2,5%). Este fator poderá levar a um aumento do consumo de água na mistura, para manter a mesma consistência da mistura. As Figuras 33, 34 mostram as frações granulométricas da areia e do RCC.

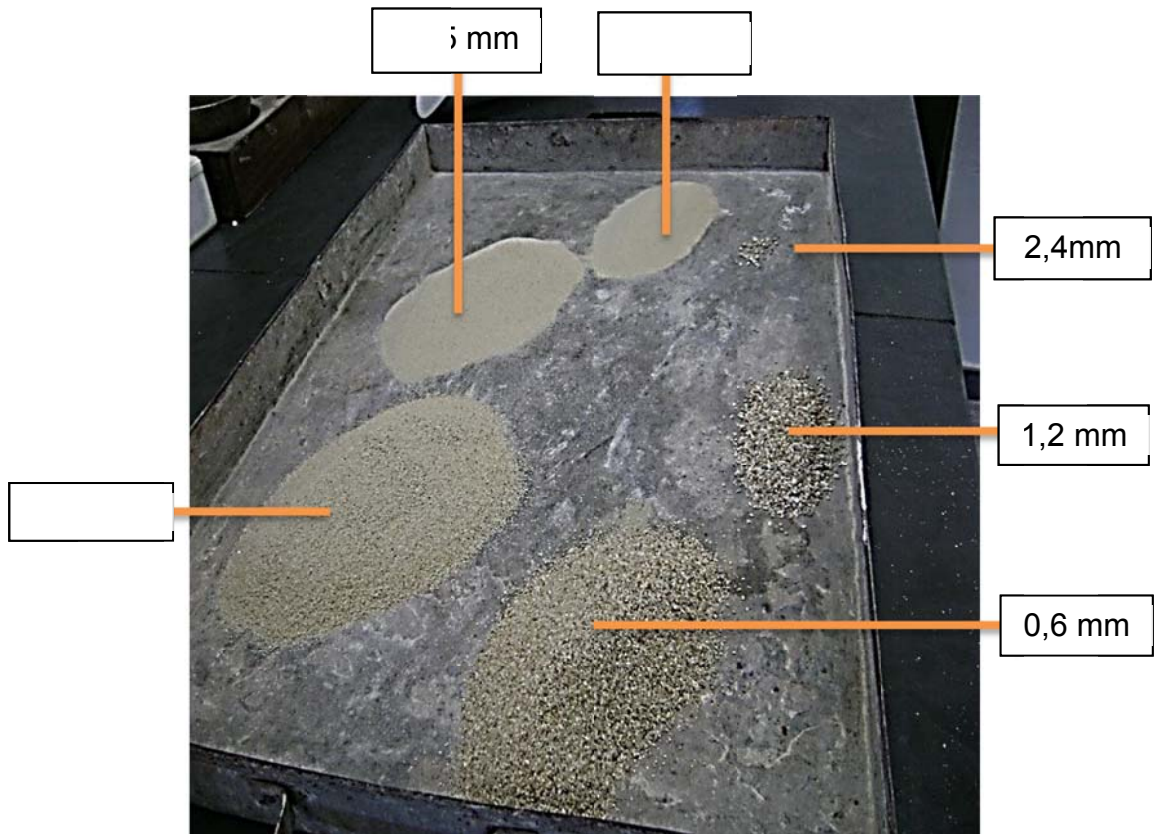


Figura 33 – Frações granulométricas da areia.

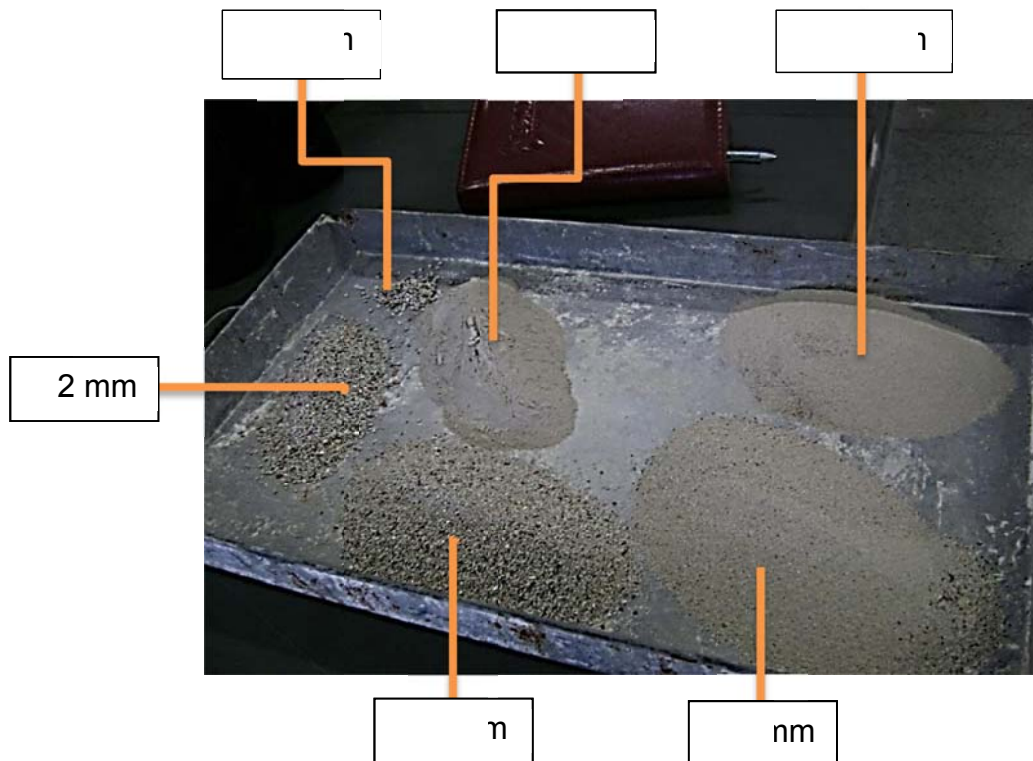


Figura 34 - Frações granulométricas do RCC.

6.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO PLÁSTICO

6.2.1. Consistência, Retenção de Água, Massa Específica e Teor de Ar Incorporado.

Analisando os resultados obtidos para as consistências (NBR 13277/2005) das argamassas na Tabela 24, observa-se que a relação água/aglomerante mantém-se a mesma para todas as argamassas com exceção da argamassa 5 (substituição de 100% da areia pelo RCC) que teve um aumento de 20%. Os índices de consistências das argamassas estão todos dentro da faixa de (300 ± 20) mm, tendo uma variação máxima de 10,7%.

A argamassa 2 tem o maior índice, uma vez que foi confeccionada utilizando o moinho/argamassadeira, isto pode ter contribuído para melhorar as suas características físicas desta argamassa no estado fresco.

Ocorreu uma perda no índice de consistência na argamassa 5 (com 100% de RCC e relação a/agl. 2,24). O agregado reciclado, ao absorver água para seu interior, retira uma parcela de água livre do sistema, presente entre os grãos e responsável por dar fluidez à argamassa, prendendo-a em seus poros. Esta água removida do sistema faz reduzir a fluidez da pasta e aumentar a sua coesão com redução do índice de consistência.

Tabela 25 - Características das argamassas no estado fresco

Argamassa	Consistência (mm)	Relação a/agl.	Retenção de ar incorp. (%)	Retenção de água (%)	Massa específica (g/cm ³)
1	290	1,87	2,2	89,8	2,09
2	305	1,87	1,8	97,8	2,15
3	286	1,87	2,5	89,7	2,08
4	295	1,87	2,0	89,5	2,05
5	280	2,24	2,8	85,1	2,01

A NBR 13277(ABNT,2005) estabelece que a capacidade de retenção de água (%) para argamassa é de ≥ 80 e ≤ 90 (normal) e de >90 (alta). A argamassa 2 apresenta uma capacidade de retenção de água alta e as demais uma capacidade normal (Tabela 25).

A Tabela 25 também apresenta os resultados obtidos nos testes realizados para a obtenção do teor de ar incorporado das argamassas estudadas, segundo a NBR NM 47/2002.

Apesar de o teor de ar incorporado de uma argamassa plástica depender de uma série de fatores, as saber, tipo de misturador, tempo de mistura, fator a/agl granulometria do agregado, viscosidade, velocidade de mistura, tamanho do recipiente de mistura em relação ao misturador, dentre outros, na situação em que nenhum agente é incorporado, os valores obtidos são geralmente muito baixos e praticamente independentes destes fatores, devido à instabilidade das bolhas observadas.

O teor de ar incorporado ficou baixo (entre 1,8 a 2,8 %), com destaque para a argamassa 2 que apresentou um teor de 1,8%, este fato pode ser atribuído ao empacotamento devido à cominuição do moinho/argamassadeira. O teor de ar, se elevado, leva a um aumento na porosidade da mistura, conseqüentemente, em reduções importantes na resistência das argamassas.

6.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

6.3.1. Resistência à Compressão Axial

As Tabelas 26 a 31, a seguir, apresentam os resultados do ensaio de resistência à compressão axial das argamassas. A Figura 35 mostra os CP's após o ensaio de resistência à compressão.



Figura 35 - Vista dos CP's após rompimento.

Tabela 26 – Resistência à compressão no Traço 1:1:7 (cimento : cal: areia) com relação água/aglomerantes de 1,87 (argamassa 1).

Corpo-de-prova	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	Carga de Ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Média da tensão de ruptura (MPa)
1	50	19,63	755	4,0	6,0
2	50	19,63	1461	7,0	
3	50	19,63	1424	7,0	
4	50	19,63	1254	6,0	

Tabela 27 – Resistência à compressão no traço 1: 4,5: 2,5 (cimento: RRC: areia) com relação água/aglomerantes de 1,87 (argamassa 2).

Corpo-de-prova	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Média da tensão de ruptura (MPa)
1	50	19,63	2971	15,0	15,3
2	50	19,63	2934	15,0	
3	50	19,63	3457	17,0	
4	50	19,63	2849	14,0	

Tabela 28 – Resistência à compressão no traço 1: 1: 4,5: 2,5 (cimento: cal: RCC: areia) com relação água/aglomerantes de 1,87 (argamassa 3).

Corpo-de-prova	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Média da tensão de ruptura (MPa)
1	50	19,63	1388	7,0	7,0
2	50	19,63	1327	7,0	
3	50	19,63	1376	7,0	
4	50	19,63	1400	7,0	

Tabela 29 – Resistência à Compressão no traço 1: 4,5: 2,5 (cimento: RCC: areia) com relação água/aglomerantes de 1,87 (argamassa 4).

Corpo-de-prova	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Média da tensão de ruptura (MPa)
1	50	19,63	950	5,0	5,3
2	50	19,63	1193	6,0	
3	50	19,63	1047	5,0	
4	50	19,63	962	5,0	

Tabela 30 – Resistência à compressão no traço 1: 7 (cimento: RCC) com relação água/aglomerantes de 2,24 (argamassa 5).

Corpo-de-prova	Diâmetro (mm)	Área (cm ²)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Média da tensão de ruptura (MPa)
1	50	19,63	1717	9,0	9,8
2	50	19,63	1972	10,0	
3	50	19,63	2009	10,0	
4	50	19,63	2033	10,0	

Tabela 31 – Resumo da Resistência à compressão das argamassas.

Argamassa	Média de Rc (MPa)	a/agl.	Consistência (mm)	Traço cimento: cal: RCC: areia (massa)
1	6,0	1,87	290	1: 0,5: 0: 9,6
2	15,3	1,87	305	1: 0: 5,5: 3,4
3	7,0	1,87	286	1: 0,5: 5,5: 3,4
4	5,3	1,87	295	1: 0: 5,5: 3,4
5	9,8	2,24	280	1: 0: 8,5: 0

Ao analisar a resistência à compressão axial obtida para todas as argamassas observam-se todas têm resistências que atendem a NBR 13279 (1995) para argamassas de revestimentos de paredes internas e externas para pintura, reboco e cerâmica. Figura 36 mostra o gráfico da média comparativa dos resultados.

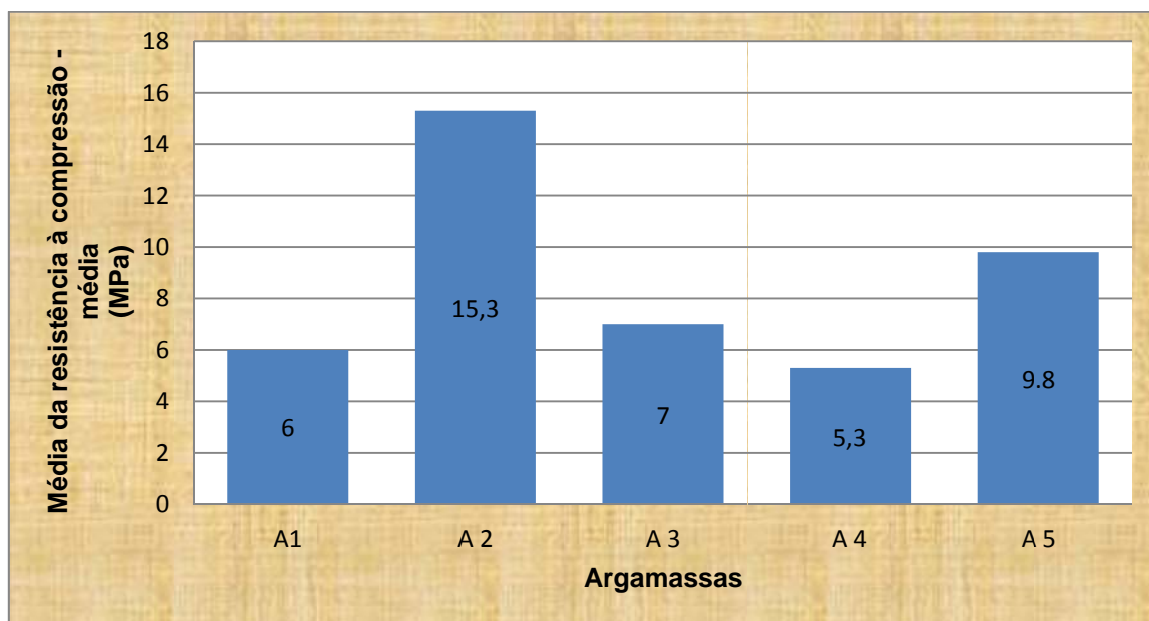


Figura 36 – Gráfico comparativo da média da resistência à compressão obtida para as argamassas.

Comparando a argamassa 1 (1: 0,5: 9,6 - cimento: cal: areia) com a argamassa 3 (1: 0,5: 5,5: 3,4 - cimento: cal: RCC: areia), o fator a/aglomerante é o mesmo percebe-se que os índices de consistência estão próximos, isto pode ser atribuído a presença da cal na argamassa. Quanto à resistência a compressão a argamassa 3 apresenta uma resistência maior, isto pode ser por causa do RCC.

Comparando a argamassa 2 (1: 5,5: 3,4 - cimento: RCC: areia) com a argamassa 4 (1: 5,5: 3,4 - cimento: RCC: areia) e argamassa 5 (1: 8,5 - cimento: RCC), percebeu-se que o índice de consistência para a argamassa 2 foi maior em relação às argamassas 3 e 5. Essa variação pode ser devido à cominuição dos agregados (areia e RCC) feita pelo moinho/argamassadeira. A confecção de argamassa neste tipo de equipamento, produz uma quantidade regulada de finos, que aumentam a plasticidade e trabalhabilidade. Além disso, estes finos ao

preencher os espaços vazios entre os grãos de areia, podem diminuir a permeabilidade. As argamassas 2 e 4 tem a mesma relação a/agl., mas a argamassa 5 tem a/agl. 20% a mais, isto pode ser devido a grande absorção do RCC. Quanto a resistência a compressão, a argamassa 4 apresentou resultados de 5,3 MPa, enquanto a argamassa 5 apresentou 9,8 MPa (quase duas vezes maior que a argamassa 4). Este resultado confirma o que a literatura diz, mostrando que a argamassa com RCC apresenta resultado de resistência a compressão superior a com areia natural. A argamassa 2 apresentou resultado de 15,3 MPa (praticamente três vezes maior que a argamassa 4). Não era esperado um resultado tão grande para a argamassa 2. A explicação para este resultado está na influência do moinho/argamassadeira na confecção da argamassa, levando a argamassa ter um melhor empacotamento.

6.3.3. Resultados dos ensaios de caracterização da argamassa aplicada sobre a base

6.3.3.1. Resistência de aderência à tração da argamassa

A argamassa 2 foi escolhida para o ensaio de arrancamento por ser a que estava sendo utilizada na obra do Ed. Júlio Vicente da Cruz, além da argamassa convencional. Os resultados obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração podem ser vistos na Tabela 32 e nas Figuras 37 e 38.

Tabela 32 - Resultados de resistência ao arrancamento por tração.

Corpo-de-prova	Tensão (MPa)	Forma de ruptura (A) (%)					
		a	b	c	d	e	
01	0,77	100	-	-	-	-	
02	0,29	85	15	-	-	-	
03	0,75	100	-	-	-	-	
04	0,83	100	-	-	-	-	
05	0,64	100	-	-	-	-	
06	0,56	80	20	-	-	-	

(A) Formas de ruptura:

- a) ruptura na interface argamassa/emboço;
- b) ruptura da argamassa de revestimento;
- c) ruptura do emboço;
- d) ruptura na interface argamassa de revestimento/cola;
- e) ruptura na interface cola/pastilha.

Foi registrado, após o arrancamento, o tipo de ruptura de cada CP: na interface argamassa/emboço, da argamassa de revestimento, do emboço, na interface argamassa de revestimento/cola e/ou na interface cola/pastilha. Quando ocorreram diferentes tipos de ruptura no mesmo CP, anotou-se a porcentagem aproximada da área de cada uma, mediante análise da superfície fraturada. Esta análise é de fundamental importância para o ensaio, visto que existe efeito significativo do tipo de ruptura nos valores de aderência (Figura 37).



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(e)

Figura 37 – Tipos de ruptura após ensaio de arrancamento.

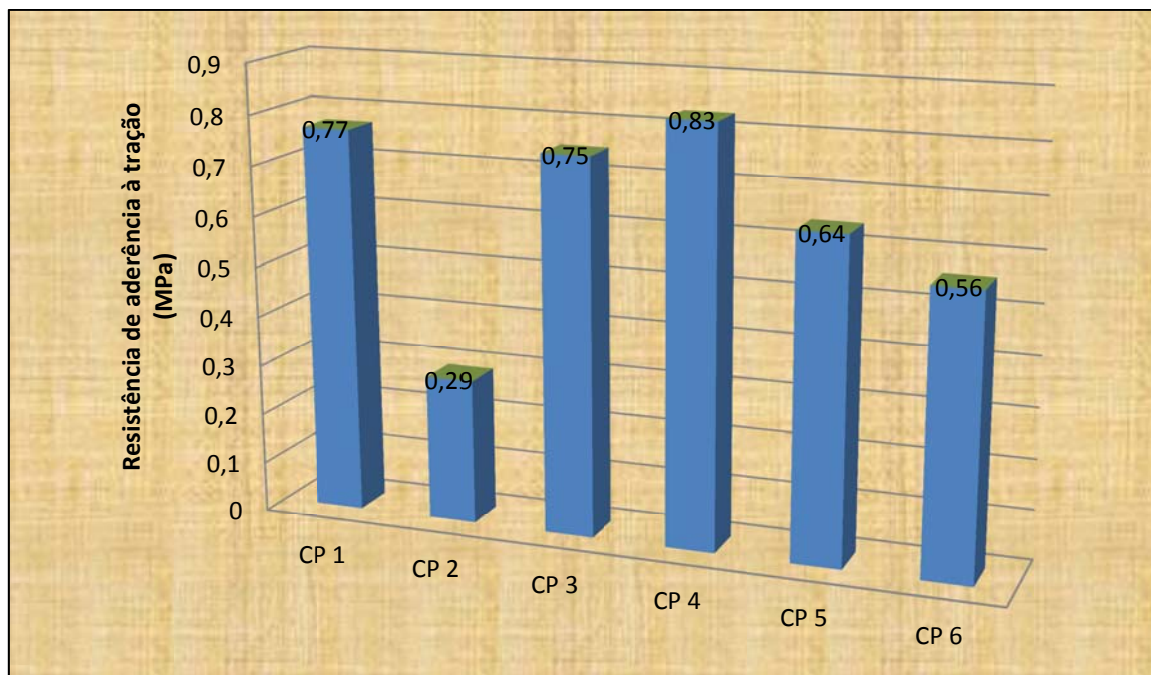


Figura 38 – Gráfico comparativo da resistência de aderência à tração obtida para cada CP.

Na análise dos resultados, percebe-se que, para CP's, as tensões de ruptura aos 28 dias de idade foram maiores que 0,20 MPa, valor recomendado pela NBR 13749 (ABNT, 1996b) para, pelo menos, quatro de cada seis CP's ensaiados, na situação de parede interna com acabamento em pintura ou base para reboco. Sob este aspecto, o revestimento, foi, portanto, aprovado para paredes internas e externas. Observa-se ainda o excelente desempenho, mesmo para revestimentos externos, onde o valor mínimo exigido por norma é de 0,3MPa, sendo que o menor valor obtido foi de 0,29 MPa.

Ainda, pela observação dos CP's rompidos, verificou-se que, nos locais ensaiados, o revestimento possui espessura de 2 cm.

O tipo de ruptura exerce grande influência nos valores de aderência e, por isso, a forma em que aquela ocorreu em cada CP deve ser examinada criticamente. Para os CP's 1, 3, 4 e 5, a ruptura ocorreu 100% na interface argamassa/emboço, demonstrando uma boa resistência da argamassa, o que pode ser verificado nos resultados das tensões de ruptura. No caso do CP 6 apesar de a ruptura não ter

ocorrido totalmente naquela mesma interface (80%), percebe-se que resistência obtida no ensaio foi de 0,56 MPa.

O pior resultado foi o do CP 2, visto que 85% da ruptura se deu na argamassa/emboço, ocasionando uma resistência à tração mais baixa (0,29 MPa), mesmo assim maior que a exigida pela NBR 13749 (ABNT, 1996b). Essa discrepância em relação às demais tensões obtidas pode ter ocorrido no ponto 2 devido à falha pontual na execução do substrato.

6.3.3.2. Permeabilidade à água

Resultados obtidos nos testes de permeabilidade realizados de acordo com as recomendações do CSTC (1982), que preconiza o método do cachimbo para a avaliação *in situ* da permeabilidade em superfícies verticais são apresentadas na Tabela 33 e na Figura 38.

Tabela 33 – Medidas de permeabilidade na argamassa 2

Tempo (min)	Ponto 1 (cm ³)	Ponto 2 (cm ³)	Ponto 3 (cm ³)
1	0,00	0,03	0,02
2	0,05	0,06	0,06
3	0,10	0,10	0,11
4	0,10	0,12	0,11
5	0,15	0,16	0,14
6	0,20	0,19	0,19
7	0,25	0,26	0,24
8	0,30	0,29	0,30
9	0,35	0,34	0,36
10	0,38	0,39	0,39
11	0,42	0,42	0,42
12	0,44	0,44	0,43
13	0,46	0,46	0,46
14	0,46	0,46	0,46
15	0,47	0,48	0,47

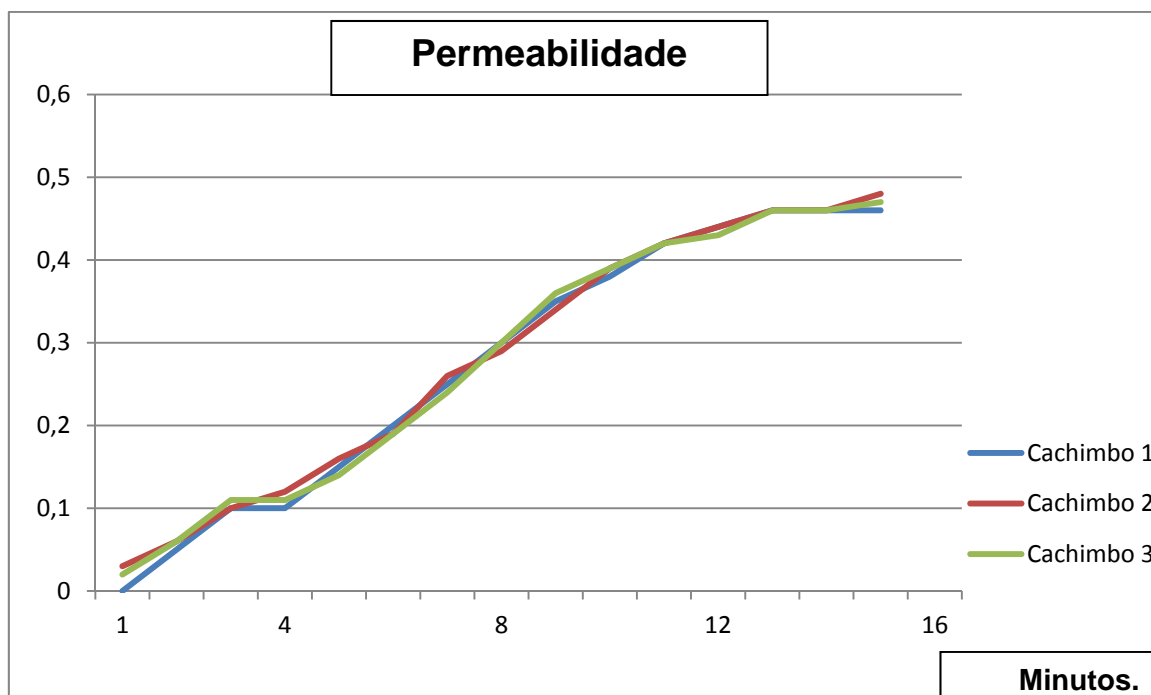


Figura 39 – Evolução da permeabilidade na argamassa

Os pontos 1, 2 e 3 apresentam comportamentos semelhantes, com permeabilidade baixa aos 15 minutos ($0,47\text{cm}^3$, $0,48\text{ cm}^3$ e $0,47\text{ cm}^3$ respectivamente). Ademais, a permeabilidade é diretamente proporcional à relação água/aglomerantes, que não possui um valor preciso no traço final da argamassa com RCC, pois a água vai sendo acrescentada aos poucos na mistura, até que se atinja, empiricamente, uma boa consistência. Assim, estes baixos valores na evolução da permeabilidade da argamassa 2 podem ter ocorrido por causa do empacotamento devido ao efeito da confecção da argamassa no moinho/argamassadeira.

Para fins de comparação, utilizaram-se as medidas de permeabilidade para uma argamassa de cimento, cal e areia com traço de 1:1:6 obtidas por Carvalho Júnior (2005) na sua pesquisa para avaliação da aderência de revestimentos argamassados. Nesta, o maior valor medido aos 15 minutos de contato da água presente no cachimbo com a superfície da argamassa foi de $2,30\text{ cm}^3$, sendo que, no caso do Ed. Júlio Vicente da Cruz, este valor foi de $0,48\text{ cm}^3$ (ponto 2). Observa-se, portanto, porém os traços utilizados são diferentes em cada caso.

6.4. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DOS COMPONENTES DA ARGAMASSA

A partir do DRX (Figura 40) foi confirmado que o material obtido na moagem tinha abundante de quartzo (SiO_2), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e microclina (KAlSi_3O_8); medianamente abundante calcita (CaCO_3); raro moscovita ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$) e biotita ($\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{OH},\text{F})_2(\text{Al},\text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}$), existindo também traços de e caulinita ($\text{AlSi}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$).

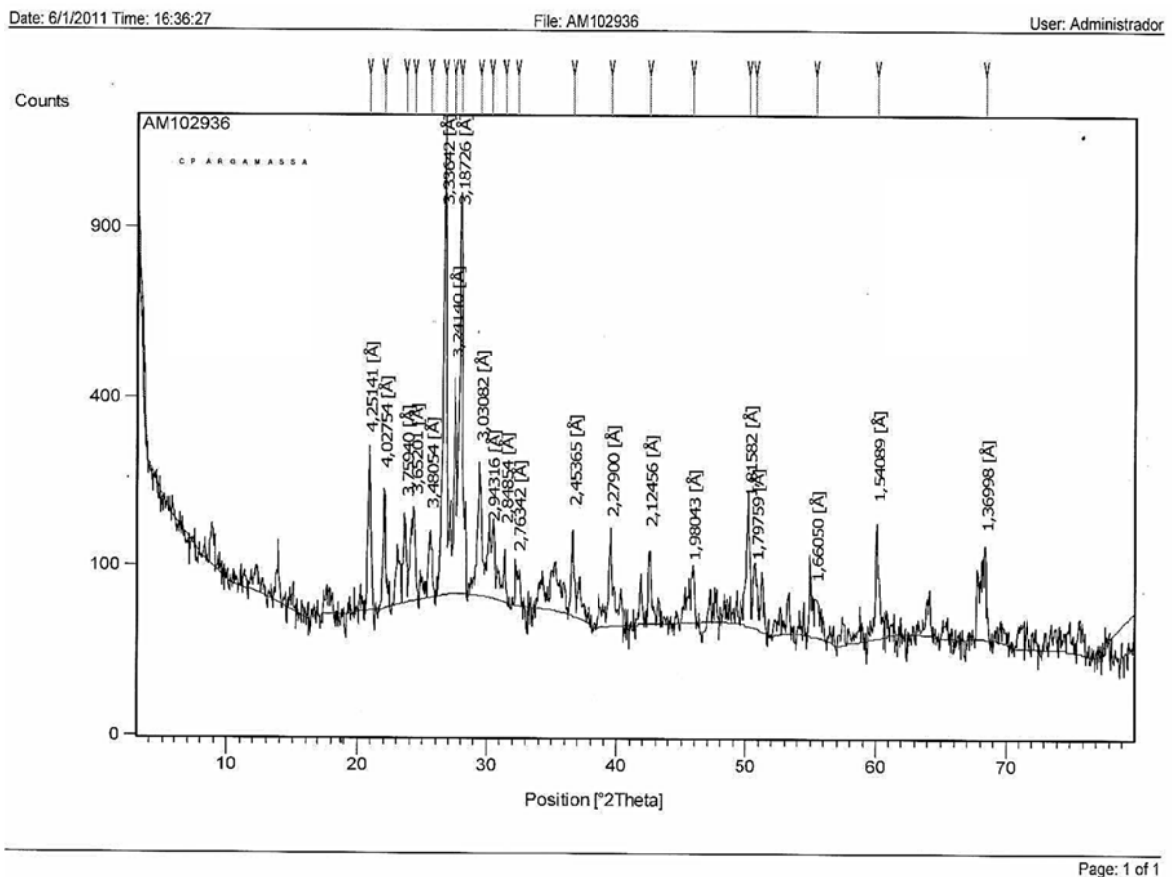


Figura 40 - Difratoograma da amostra da argamassa 2

O quartzo é um mineral duro (dureza 7 na escala MOHS), de cor branca ou incolor, podendo também apresentar outras variedades, como roxo, amarelo, vermelho, preto, etc. É transparente ou opaco, possui densidade 2,65 e está presente em rochas ígneas tipo ácidas ($\text{SiO}_2 > 65\%$), tal como o granito. Devido à sua resistência ao intemperismo, é também um importante constituinte de muitos

depósitos de areia, pedregulho e arenitos, exemplares de rochas sedimentares silicosas (LEINZ; AMARAL, 1989; MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A albita ou *albite* é um mineral, pertencente à família dos feldspatos alcalinos. É o extremo sódico da série das plagioclases, não contendo mais de 10% de anortita. A calcita possui cor branca, rósea, cinza ou amarela, brilho vítreo, dureza 3 na escala MOHS e densidade 2,7. A dolomita apresenta cor branca ou cinza amarelada, brilho vítreo, dureza 3,5 na escala MOHS e densidade 2,85 (LEINZ; AMARAL, 1989).

A calcita (carbonato de cálcio) e a dolomita (carbonato de cálcio e magnésio) são minerais carbonáticos. A dolomita é o principal mineral presente no dolomito e a calcita o principal componente do calcário; no calcário dolomítico, 50 a 90% da composição é de calcita e o restante de dolomita e, no dolomito calcítico, 50 a 90% é de dolomita e o restante de calcita. Geralmente, a cor do dolomito e do calcário é branca, mas pode ser cinzenta azulada, cinzenta escura, negra, amarelada ou acastanhada. As rochas sedimentares carbonáticas são menos duras que as silicosas, entretanto, geralmente, produzem agregados de qualidade satisfatória (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A caulinita é um argilomineral de alumínio hidratado. Os argilominerais, que consistem essencialmente de silicatos hidratados de alumínio, magnésio e ferro, são os principais constituintes das argilas e folhelhos. Eles são de baixa dureza e se desintegram pela ação da água; algumas argilas sofrem grandes expansões na presença desta. Portanto, argilominerais não são usados diretamente como agregados, mas podem estar presentes como contaminantes em um agregado natural, o que ocorre frequentemente em rochas sedimentares (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Pela análise mineralógica dos componentes da argamassa 2, é possível concluir que, de forma geral, há uma predominância de quartzo e albita (feldspato). Este resultado já era esperado devido ao fato da utilização de areia lavada nas argamassas de revestimentos e contrapiso.

6.5. AVALIAÇÃO DA FISSURAÇÃO

Na idade de 120 dias, após a execução do ensaio de arrancamento, foi feita uma análise visual no revestimento com a argamassa 2 para verificar o número de fissuras visíveis. Nenhuma fissura foi detectada (Figura 41).



Figura 41 - Análise visual para detectar fissuras no revestimento com a argamassa 2.

7. CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados obtidos, pode-se chegar às seguintes conclusões quanto ao uso de RCC na produção de revestimentos de argamassa:

As argamassas com RCC mostraram ter desempenho quanto à compressão superior ao do revestimento da argamassa 1 (argamassa mista);

Na análise no estado endurecido da argamassa 2, foi evidenciado um efeito de empacotamento importante, onde apresentou resistência à compressão superior as outras argamassas e uma aderência muito boa, embora o CP 2 tenha apresentado o menor valor de resistência à aderência, contudo satisfatório, pois se mostrou aprovado para revestimento em pintura interna (0,2 MPa) e extremamente próximo do valor recomendado para os demais revestimentos internos e externos (0,3 MPa).

Em relação à absorção capilar, o revestimento com a argamassa 2 apresentou absorção muito baixa;

Não houve constatação de fissura no revestimento com a argamassa 2.

O equipamento moinho/argamassadeira pode ter sido importante para o bom desempenho da argamassa 2 em relação à: resistência de compressão e aderência à tração; melhoria da trabalhabilidade; e plasticidade necessária para resistir a fissuras durante seu processo de carbonatação.

O uso de RCC pode gerar economia, pela substituição da areia convencional pelo RCC, pela eliminação do custo de remoção do resíduo e pela diminuição do consumo de agregados.

Diante dos resultados obtidos para esta pesquisa pode-se verificar que o RCC atendeu as exigências estabelecidas pelas normas da ABNT, possibilitando a utilização deste material para a produção de argamassas de revestimento. A

argamassa 2 mostrou viável por apresentarem desempenhos satisfatórios quanto aos aspectos físicos e mecânicos, bem como melhoria ao meio ambiente.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De um modo geral, este trabalho contribuiu para um melhor entendimento do comportamento dos RCC nas propriedades das argamassas, apresentando um alto potencial de utilização.

Como sugestões para continuidade da pesquisa e, visando contribuir para a melhoria da compreensão dos fenômenos e mudanças ocorridas com a substituição de agregado natural pelo RCC, propõe-se alguns tópicos listados abaixo:

- Com traços modificados reduzindo-se o teor de cimento dos mesmos.
- Pesquisar a correlação entre o módulo de elasticidade e a resistência à tração na flexão, compressão e aderência no controle de fissuração em revestimentos de argamassa com RCC;

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, G. **Estudos de Argamassa com Agregados Contaminados por Gesso de Construção**. 2004. 282p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

AGOPYAN, V. Números do desperdício. Técnica. **Revista de Tecnologia e Negócios da Construção**, Editora PINI, São Paulo, agosto de 2001, v. 53, ano 10, p. 30-32.

ALMEIDA, et al. Estudo da aplicação de argamassa de assentamento de revestimento cerâmico com a utilização de resíduos cerâmicos como substituto de agregado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONGRESSO, 52., 2010, São Paulo. **Anais...** IBRACON, 16p. São Paulo, 2010.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Brasília, 2002.175p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2002.

AMORIM, L. V.; PEREIRA, A. S. G.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C. Reciclagem de rejeitos da construção civil para uso em argamassa de baixo custo, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Vol. 3, nº2, pp. 222-228, Campina Grande – PB, 1999.

ANDRADE, R. C.; ROCHA, J. C.; PRUDÊNCIA JR., L. R. CHERIAF, M. Aproveitamento do entulho da construção civil como agregado para concreto. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: PURGS, 1998, p. 139-143.

ANGULO, S. C. **Gestão de entulho em canteiros de obras**. 1999. 50f. Trabalho e seminário apresentado à disciplina PCC 5047 (Canteiro de obras de edifícios). Escola Politécnica, USP, São Paulo, 1999.

ANGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. 2000. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo – USP, 2000.

ANGULO, S. C. **Caracterização de Agregados de Resíduos de Construção e Demolição Reciclados e a Influência de Suas Características no Comportamento de Concretos**. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2005.

ANVI Comércio e Indústria Ltda. **Catálogo comercial**. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.anvi.com.br>>. Acesso em 20 jul. 2010.

ANVI Comércio e Indústria Ltda. **Comparativo de custo de argamassas. Argamassadeira “Anvi 500” x betoneiras**. São Paulo, ANVI, 2010. Disponível em: <<http://www.anvi.com.br/argamasseira.php>>. Acesso em 10 ago. 2010.

ASSIS, C. S.; OLIVEIRA, M. J. E. Estudo da reciclagem de resíduos gerados pela construção civil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL – Gerenciamento de Resíduos Sólidos e Certificação Ambiental, 2., Porto Alegre, 1998. **Anais...** Porto Alegre: EDIPUCRS, 1998, v. I. p. 99-104.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 47: Concreto – Determinação do teor de em concreto fresco – Método pressométrico**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 5735: Cimento Portland de alto-forno**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 6133: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - requisitos**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - requisitos**. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento.** Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7215: Cimento Portland - determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1996a.

_____. **NBR 10004: Resíduos sólidos – classificação.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - preparo da mistura e determinação do índice de consistência.** Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 13277: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à compressão – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

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

_____. **NBR 13749: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - especificação.** Rio de Janeiro, 1996b.

_____. **NBR15112 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Área de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR15113 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR15114 – Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR15116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR NM 248: Agregados – determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003d.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G.F.; BARATA, M.S. **Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidos com resíduos da construção e demolição com agregado.** Exacta, São Paulo, 2007. Disponível

em:http://portal.uninove.br/marketing/cope/pdfs_revistas/exacta/exactav5n2/exactav5n2_3a57.pdf>. Acesso em 05 abr. 2010.

AZEVEDO, G. O. D.; KIPERSTOK, A.; MORAES, L. R. S. Resíduos da Construção Civil em Salvador: Os caminhos para uma gestão sustentável. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. Vol.11, no.1. Rio de Janeiro. Março, 2006.

BARBOSA, A. H.; OLIVEIRA, S.L.; **Estudo da adição de resíduo cerâmico em argamassas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONGRESSO, 52., 2010, São Paulo. **Anais...** IBRACON, 16p. São Paulo, 2010.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 307**, de 05 de julho de 2002. Brasília. Diário Oficial da União, de 30 de Agosto de 2002, seção I, p. 17.241.

_____. **Resolução nº. 348**, de 16 de Agosto de 2004. Diário Oficial da União, de 17 de Agosto de 2004, seção I, nº. 158.

BATTISTI, S.; MACHADO, G. S; KAZMIERCZAK, C. S.; SCHERER, A. R.; CALARGE, L., SANTOS, S. S. Aproveitamento de resíduo industrial para a aplicação em componentes construtivos tijolos e blocos para habitação de interesse social. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2., Porto Alegre, 1998. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 1998, p. 145-149.

BAZUCO, R. S. **Utilização de Agregados Reciclados de Concreto para Produção de Novos Concretos**. 1999. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade de Federal de Santa Catarina, 1999.

BRANDÃO, P. R. G. **Difração de raios-X – método do pó**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007a. (Notas de aula da disciplina

Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

_____. **Emissão de elétrons e raios-X – difração de raios-X**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007b. (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

_____. **Introdução - granulometria**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007d. (Notas de aula da disciplina Métodos de Instrumentação e Análise do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas).

CAMARGO, A. **Minas de Entulho**. Técnica, nº15, Ed. Pini, São Paulo, mar/abr. 1995.

CARNEIRO, A. P., CASSA, J. C. S., BRUM, I. A . S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção**: Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, 2001.

CARVALHO JÚNIOR, A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. 2005. 331f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

_____. **Argamassas**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. (Notas de aula da disciplina Materiais de Revestimento do Curso de Pós-Graduação em Construção Civil).

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. 1CD.

CARASEK, H. et al. Microestrutura da interface argamassa/tijolo cerâmico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador: CETA/ANTAC, 1997. 1 CD.

CARRIJO, P.M. **Análise da Influência da massa específica de agregados graúdos provenientes de resíduos de construção e demolição no desempenho mecânico do concreto.** 2005. 129p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CATAPRETA, A. A. C., PEREIRA, C. J., ALMEIDA, H. A., **Avaliação do desempenho das usinas de reciclagem de resíduos de construção civil de belo horizonte, Brasil.** In: XXXI CONGRESO INTERAMERICANO AIDIS. Santiago – CHILE . Centro de Eventos Casa Piedra . 12 – 15 Octubre de 2008.

CAVALCANTE, J. R., CHERIAF, M. Ensaio de avaliação para controle ambiental de materiais com resíduos incorporados. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo, 1997. **Anais...** São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997, p. 31-38.

CINCOTTO, M. A. (Coord.); SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimentos: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: IPT, 1995.

CINCOTTO, M. A.; KAUPATEZ, R. M. Z. **Seleção de materiais quanto à atividade pozolânica.** In: COLETÂNEA DE TRABALHOS DA DIVISÃO DE EDIFICAÇÕES DO IPT. Pini. São Paulo, 1988.

CMRA - Construction Materials Recycling Association. Economical good sence. 2006. Disponível em: < <http://www.concreterecycling.org> >. Acesso em 15 de ago. 2010.

CRUZ, L. B. **“História da Engenharia Civil”.** Documentos das Aulas. Licenciatura em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

CUNHA, R. R.J.; OLIVEIRA, L. F. **Principais aplicações de resíduos de construção e demolição (RCD) visando à redução e o reaproveitamento.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 50. **Anais...** Salvador. 2008. 22 pag.

DIAS, J. F. **Avaliação de resíduos da fabricação de telhas cerâmicas para seu emprego em camadas de pavimento de baixo custo.** 2004. 263p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DUTRA, C. V.; GOMES, C. B. A fluorescência de raios-X na geologia. In: GOMES, C. B. (Coord.). **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1984. p. 84-120.

ESPINELLI, U. A gestão do consumo de materiais como instrumento para a redução da geração de resíduos nos canteiros de obras. In: SEMINÁRIO DE GESTÃO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO – AVANÇOS E DESAFIOS. São Paulo. PCC USP, 2005. 1 CD-ROM.

FIÚZA, S. M., PEDERZOLI, A., SILVA, M. E. C. Programa de reciclagem de resíduos de construção civil de Belo Horizonte: avaliação de 10 anos de experiência. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24,** Anais..., Belo Horizonte. ABES: Rio de Janeiro, 2007.

FORMOSO, M. L. L. Difractometria de raios-X. In: GOMES, C. B. (Coord.). **Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1984. p. 2-43.

FRANCHI, C. C.; SOILBELMAN, L. S.; FORMOSO, C. T. As perdas de materiais indústria da construção civil. In: SEMINÁRIO QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., 1993, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: NORIE, UFRGS, 1993.

FREITAS, E. N. G. O. **O desperdício na construção civil: Caminhos para sua redução.** 1995. 120f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1995.

GOMES, P.; FELIX,S.; SANTOS, M.; SILVA, K. **Propriedades de argamassas com agregados reciclados**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONGRESSO, 52., 2010, São Paulo. **Anais...** IBRACON, 16p. São Paulo, 2010.

GONÇALVES, R. D. C. Agregados reciclados de resíduos de concreto – um novo material para dosagens estruturais. 2001. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, USP. São Paulo, 2001.

GONÇALVES, J. P; TAVARE, L. M; TOLEDO FILHO, R. D. FAIRBAIRN, E. M. R.; CUNHA, E.R. **Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars**. **Cement and Concrete Research**, volume 37, pages 924 – 932, 2007.

GOOGLE MAPS, <http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-br&tab=wl>. Acessado em 16 de dezembro de 2010.

GRIGOLI, A. S. **Entulho de obra - Reciclagem e consumo na própria obra que o gerou**. In: ENATA - MODERNIDADE E SUSTENTABILIDADE, ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO MEIO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. **Anais....** Bahia, 2000.

_____. **Molhagem dos agregados de entulhos de obra para a execução de argamassa – melhora do desempenho**. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., São Paulo – SP, 2001a.

_____. **Resistência mecânica de argamassa com relação à presença de materiais cerâmicos de entulhos de obra**. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., São Paulo – SP, 2001b.

_____. **Entulho de canteiro de obra utilizado como material de construção – uma alternativa inadiável.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, 4., São Paulo –SP, 2001c.

_____. **Argamassa contendo entulho de obra – Procedimento de molhagem antes do uso para melhoria do desempenho.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., Brasília. **Anais...** Brasília: PECC/ANTAC, 2001.

HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C. **Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria.** In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo, 1997. **Anais...** São Paulo: EPUSP/ANTAC, 1997, p. 107-115.

I&T. Informações e Técnicas em Construção Civil Ltda. **Relatório informativo das atividades do estudo de viabilidade técnico-econômica da reutilização de resíduos de Santo André.** São Paulo, I&T. 1990 (documento interno).

_____. **Manual de uso dos resíduos de construção reciclados.** São Paulo: I&T, 1995 (documento interno).

_____. **Diagnóstico da geração e destinação de Resíduos de Construção no Município de São José do Rio Preto/SP.** São Paulo: I&T, 1997. (Documento interno).

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição.** 2005. 180p. Trabalho de conclusão (mestrado profissional). Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia,

Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

JOHN, V. M. J. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: Carneiro, A. P.; BRUM, I. A. S.; CASSA, J. C. S. (Org.). **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção: projeto entulho bom**. Salvador: EDUFBA/Caixa Econômica Federal, cap. 1, 2001, p. 28-45.

_____. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 1999. p. 44-55.

JÚNIOR, N. B.C. (coord.). **Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil**. Sinduscon-MG, 2005. 38p.

LATTERZA, L. M. **Concreto com Agregado Graúdo Proveniente da Reciclagem de Resíduos de Construção: Um Novo Material para Fabricação de Painéis Leves de Vedação**. 1998. 116p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia geral**. 11. ed. São Paulo: Nacional, 1989. 399p.

LEITE, M. B.; DAL MOLIN, D. C. C. **Avaliação da atividade pozolânica do material cerâmico presente no agregado reciclado de resíduo de C&D, SITIENTIBUS**, Feira de Santana – BA, nº 26, pp.111-130, 2002.

LEVY, S. M. **Reciclagem de entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas**. 1997. 146p. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

_____. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. 194p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001..

LEVY, S. M.; HELENE, P. R. L. Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL WORKSHOP, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, PCC USP, UFSC, 1996, p. 137-146.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 223f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos**. São Paulo, 1998.

MAQBRIT. Manual de operação e manutenção – Unidade de Reciclagem de Entulhos de Construção civil. São Paulo, 2006.

MARQUES NETO, José da Costa. **Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos: RIMA, 2005. 162 p.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, Ed. PINI, 1994.

MENDES, B. S; BORJA, E. V. **Estudo experimental das propriedades físicas de argamassa com adição de resíduos de cerâmicas vermelhas recicladas.** Holos, Ano 23, Vol. 3, 2007.

MINISTÉRIO das Cidades. Portaria n. 134, de 18 de dezembro de 1998. Institui o *Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat - PBQP-H*. Brasília: Ministério das Cidades, 1998. Disponível em: < <http://www.cidades.gov.br/pbqp-h/index.php>>. Acesso em: 29 out. 2010.

MIRANDA, L. F. R. **Estudos de fatores que influem na Fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** 2000. 172p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2000.

MIRANDA, L. F. R. **Contribuição ao desenvolvimento da produção e controle de argamassas de revestimento com areia reciclada lavada de resíduos Classe A da construção civil.** 2005. 439p. Tese (doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005.

MIRANDA, LFR; SELMO, SMS. CDW recycled aggregate renderings: Part I – Analysis of the effect of materials finer than 75µm on mortar properties. *Construction and Building Materials*; volume 20, pages 615-624, 2006.

MIRANDA, LFR; SELMO, SMS. Part II – Analysis of the effect of materials finer than 75µm under accelerated aging performance. *Construction and Building Materials*; volume 20, pages 625-633, 2006.

NASCIMENTO, G. B. **Caracterização e utilização de Pó-de-pedra em revestimentos para restauração de edificações históricas em estilo *art déco*.** Dissertação (mestrado) - Departamento de Engenharia Civil Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

PICCHI, F. A. **Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios.** São Paulo. 1993. Tese (doutorado) - Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

PHV ENGENHARIA. **Memorial Descritivo**, 2009.

PINTO, T.P. **Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas**. 1986. 140p. Dissertação (mestrado). Departamento de Arquitetura e Planejamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

_____. Perda de materiais em processos construtivos tradicionais. Pesquisa de campo. São Carlos: Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1989a. 33p. (texto datilografado)

_____. Reciclagem de resíduos de construção e possibilidades de uso de resíduos reciclados em obras públicas. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO HABITACIONAL, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, IPT, 1994, p. 49-55.

_____. Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL (Workshop), São Paulo. *Anais...* São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1997, p. 156-170.

_____. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. 189p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1999.

_____. Bacias de Captação de Resíduos Sólidos – Instrumento Para Uma Gestão Sustentável Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Urbana, In: III SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, junho, 2000, São Paulo, SP. **ANAIS...** São Paulo, junho, 2000 PCC/USP, IBRACON. p 25-34.

PINTO, T. P.; GONZÁLES, J. L. R. **Manejo e Gestão de Resíduos da Construção Civil**. Como implantar um Sistema de Manejo e Gestão dos Resíduos da Construção Civil nos Municípios. Brasília: Caixa Econômica Federal; Ministério das Cidades, Ministério do Meio Ambiente, 2005. v. 1, 198p.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2.ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG e Escola de Engenharia da UFMG, 2002.

SALES, A. T. C.; CABRAL, M. F. F. **Argamassas com agregados reciclados de resíduos de construção**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, Julho, 2009 Salvador, BA. **Anais...** ENARC. 2009. p.448 – 459.

SANTANA, M. J. A.; CARNEIRO, A. P; SAMPAIO, T. S. **Uso do agregado reciclado em argamassas de revestimento**. Capítulo 8: Projeto Entulho Bom. Salvador: EDUFBA; Caixa Econômica Federal, 2001, 312 p.

SANTOS, P. S. **Tecnologia de argilas aplicada às argilas brasileiras**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1975. v. 1. 802 p.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**. 1989. 206f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SENAI-SE. *Gestão de Resíduos na Construção Civil*. Aracajú: SENAI-SE, 2005. 40p.

SINDUSCON-MG, Sindicato da Indústria da Construção Civil de Minas Gerais; SENAI-MG, Serviço Nacional da Indústria de Minas Gerais. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil*. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2005. 68p.

SINDUSCON-SP, Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo. *Gestão Ambiental dos Resíduos da Construção Civil*. São Paulo: SINDUSCON-SP, 2005. 48p.

SILVA, A. S. R. da et. al. Argamassa inorgânica com o emprego de entulho reciclado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., Salvador, BA, 17 e 18 de abril de 1997.

SKOYLES, E. R. **Site accounting for waste of materials**. Building Research Establishment, Jul/ago. Os números referem-se às perdas na forma de entulho, e não devem ser comparadas diretamente com as outras apresentadas (entulho + incorporado), 1976.

SLU-BH. Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte. *Relatórios internos*. Belo Horizonte: PBH, 2005.

_____. Relatórios internos. Belo Horizonte: PBH, 2007.

_____. Relatórios internos. Belo Horizonte: PBH, 2009.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações: suas incidências e seu controle**. Dissertação (mestrado). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1993.

SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C.; AGOPYAN, V. Perdas de materiais nos canteiros de obras. A queda do mito. *Qualidade na Construção*, SINDUSCON-SP, ano II, nº 13, p. 10-15, 1998.

TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P. Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate. **ACI Materials Journal**, Detroit, MI, v.93, n.2,p.182-190, mar./apr. 1996a.

_____. Drying shrinkage behavior of recycled aggregate concrete. **Concrete International**, Detroit, MI, v.18, n.11, p.58-61, nov. 1996b.

TÉCHNE. *Minas de entulho*. São Paulo: Pini, n. 15, p. 15-19, mar./ abr.1995.

VALOTTO, D. V. **Busca de informação: gerenciamento de resíduos da construção civil em canteiro de obras**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, 2007.

VIEIRA, ANDRESSA DE ARAÚJO PORTO. **Estudo do Aproveitamento de Resíduos de Cerâmica Vermelha como Substituição Pozolânica em Argamassas e Concretos**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2005. 127p.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas, 1997. 140p. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

_____. Entulho na indústria da construção. Artigo. São Paulo: PCC-EPUSP, 2002. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/>>. Acesso em: 31 out. 2010.