

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

Salomon Mony Levy

RECICLAGEM DO ENTULHO DE
CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA UTILIZAÇÃO
COMO AGREGADO DE ARGAMASSAS E
CONCRETOS

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Civil

SAO PAULO
1997



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

Salomon Mony Levy

RECICLAGEM DO ENTULHO DE
CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA UTILIZAÇÃO
COMO AGREGADO DE ARGAMASSAS E
CONCRETOS

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil

SÃO PAULO
fevereiro, 1997

Salomon Mony Levy

RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA
UTILIZAÇÃO COMO AGREGADO DE ARGAMASSAS E
CONCRETOS

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Civil

Sub-área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil
e Urbana

Orientador:
Prof. Dr. Paulo R.L.Helene

Levy, Salomon Mony

Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos. São Paulo, 1997. 145p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de engenharia Civil.

1. Estado da arte da reciclagem do entulho de construção civil
2. Composição do entulho 3. Viabilidade econômica 4. Concretos e argamassas com material reciclado 5. Experimento, aplicação em argamassas I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil. II.t

Agradecimentos

Aproveitando a conclusão de mais uma etapa de um infindável trabalho de permanente aperfeiçoamento técnico, gostaríamos de externar nossa mais profunda admiração e mais sinceros agradecimentos por todos os educadores que com seus ensinamentos colaboraram direta ou indiretamente para realização deste árduo trabalho.

Em especial, ao amigo e orientador prof. Dr. Paulo Helene, pelo incentivo e estímulo dedicados que colaboraram e muito, mostrando-nos nossa verdadeira vocação.

A prof. Dra. Maria Alba Cincotto pela dedicação e interesse dispensados, os quais foram muito estimulantes e nos auxiliaram. na conclusão desta dissertação.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT, que realizaram ensaios primordiais para realização da parte experimental deste trabalho, em particular aos amigos Maria Cecilia Florindo e Valdecir Ângelo Quarcioni, do laboratório de análises químicas de materiais da Divisão de Engenharia Civil do EPT.

A todo a equipe do laboratório do CPqDDC do departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP, em especial aos amigos, Reginaldo Mariano da Silva, Dorval Aguiar e Nilton Aigner, pela presteza com a qual atenderam nossa solicitações.

Aos nossos pais, que cedo nos indicaram caminhos possíveis a serem trilhados e calmamente, respeitando nossa decisão, souberam sentar-se na arquibancada da vida e assistir ao nosso desfile por ela.

Incentivando sem bajular quando se acertou.

Corrigindo sem criticar quando se errou.

Expondo opiniões sem impor ideais quando se discordou.

Confortando sem impedir que se sentisse o gosto amargo da derrota quando não se alcançou a vitória.

Enfim, tornando-nos capazes de realizar nossos ideais, aceitando nossa limitações e superando as frustrações decorrentes de sonhos muitas vezes não realizados.

Mostraram-nos a força da fé e da esperança em um amanhã melhor tornando-nos otimistas incorrigíveis.

À esposa e filhos, que por diversas vezes abriram mão do direito a momentos tão aprazíveis destinados ao convívio familiar, para não, comprometer o andamento deste trabalho.

Aos amigos, realmente amigos, que torceram por nosso sucesso, emocionando-se com nossas conquistas e entristecendo-se com nossas derrotas.

RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS E CONCRETO

Salomon Mony Levy

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA
LISTA DE TABELAS
RESUMO
ABSTRACT

INTRODUÇÃO

1. JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO
2. PESQUISAS E NORMALIZAÇAO EXISTENTES NO PAÍS E NO EXTERIOR
3. OBJETIVOS
4. CONTEÚDO DO TRABALHO

CAPÍTULO I ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

- 1-1. TERMINOLOGIA
- 1-2. ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
- 1-3. COMPOSIÇÃO DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
- 1-4. VOLUME DE ENTULHO GERADO EM OBRAS NOVAS

CAPÍTULO II REAPROVEITAMENTO E RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

- 2-1 REAPROVEITAMENTO DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
- 2-2 RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
 - 2-2-1 *Instalações e equipamentos empregados para reciclagem do entulho de construção civil*
 - 2-2-2 *Principais usos para os produtos obtidos através da reciclagem do entulho de construção*
 - 2-2-2-1 Como agregado miúdo
 - Em argamassas
 - Em concreto
 - 2-2-2-2 Como agregado graúdo
 - Na produção de blocos de vedação
 - Em usos rodoviários, estabilização de sub-bases, preparo de bases e concretos para pavimentos
 - Na produção de concreto estrutural
 - 2-2-3 *Vantagens e desvantagens para o meio ambiente decorrentes da instalação de usinas de reciclagem*
 - 2-3 QUALIDADE DOS AGREGADOS OBTIDOS POR MEIO DA RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO
 - 2-3-1 *Forma, textura e granulometria dos agregados obtidos pela reciclagem do entulho*
 - 2-3-1-1 Forma
 - 2-3-1-2 Textura
 - 2-3-1-3 Granulometria
 - 2-3-2 *Principais diferenças entre agregados reciclados e agregados naturais*
 - 2-3-3 *Impurezas existentes no entulho*
 - 2-4 ASPECTOS ECONÔMICOS DA RECICLAGEM
 - 2-4-1 *Para produção de agregados graúdos*
 - 2-4-2 *Para produção de agregados miúdos*

CAPÍTULO III PROPRIEDADES DOS CONCRETOS, ARGAMASSAS E ARTEFATOS DE CONCRETO PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE ENTULHO

- 3.1 CONCRETO COM MATERIAL RECICLADO
 - 3-1-1 *Propriedades dos concretos no estado fresco*
 - 3-1-1-1 Consistência e tempo de pega
 - 3-1-1-2 Consumo de cimento
 - 3-1-1-3 Massa unitária e ar aprisionado
 - 3-1-1-4 Dosagem de concretos com agregados reciclados

- 3-1-2 *Propriedades dos concretos no estado endurecido*
- 3-1-2-1 Resistência à compressão
- 3-1-2-2 Resistência à tração por compressão diametral e na flexão
- 3-1-2-3 Módulo de elasticidade
- 3-1-2-4 Deformação lenta
- 3-1-2-5 Retração por secagem
- 3-1-3 *Produção de concretos com agregados reciclados*
- 3-2 ARGAMASSAS COM MATERIAL RECICLADO
- 3-2-1 *Propriedades das argamassas no estado fresco*
- 3-2-1-1 Consistência
- 3-2-1-2 Retenção de água
- 3-2-1-3 Massa unitária
- 3-2-1-3 Consumo
- 3-2-2 *Propriedades das argamassas no estado endurecido*
- 3-2-2-1 Resistência à compressão
- 3-2-2-2 Resistência de aderência à tração
- 3-2-2-3 Módulo de elasticidade
- 3-2-2-4 Permeabilidade
- 3-2-3 *Produção de argamassas com material reciclado*
- 3-3 ARTEFATOS DE CONCRETO COM MATERIAL RECICLADO
- 3-3-1 *Propriedades mecânicas dos artefatos de concreto com material reciclado*
- 3-3-1-1 Resistência à compressão
- 3-3-1-2 Resistência à tração na flexão.
- 3-3-1-3 Desgaste da superfície por abrasão Los Angeles

CAPÍTULO IV AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM AGREGADOS MIÚDOS DE ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

4-1 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

- 4-1-1 Materiais
- 4-1-1-1 Coleta e critério de seleção do entulho
- 4-1-1-2 Caracterização dos materiais
- 4-1-1-3 Composição relativa dos constituintes do entulho
- 4-1-2 Argamassas
- 4-1-2-1 Escolha do traço
- 4-1-2-2 Moldagem dos corpos de prova
- 4-1-2-3 Métodos de avaliação do desempenho
- 4-2-1 Grau de pozolanicidade do material cerâmico
- 4-2-2 Argamassas no estado fresco
- 4-2-2-1 Massa utilitária
- 4-2-2-2 Consumos e consistência
- 4-2-2-3 Retenção de água
- 4-2-3 Argamassas no estado endurecido
- 4-2-3-1 Resistência mecânica à compressão e à tração
- 4-2-3-2 Módulo de elasticidade
- 4-2-3-3 Velocidade e profundidade de carbonatação
- 4-2-3-4 Comparação entre resultados

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- 1. Conclusões*
- 2. Transferência ao meio técnico*
- 3. Continuidade da pesquisa*
- 4. Possibilidades práticas para utilização de material reciclado*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXO A

Relatório de Ensaio no 829.785 IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas

ANEXO B

Detalhe esquemático do conjunto de britagem utilizado no exemplo para determinação do custo dos agregados reciclados

ANEXO C

Detalhe esquemático do moinho para reciclagem de entulho em canteiro

RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS E CONCRETO

Salomon Mony Levy

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA I - 1 PRINCIPAIS FONTES GERADORA ENTULHO [HONG KONG POLYTECHNIC - 1993] ;
FIGURA I - 2 COMPOSIÇÃO MÉDIA DO ENTULHO DE SÃO CARLOS EM 1985 PINTO [1989]
FIGURA I - 3 VOLUME DE ENTULHO GERADO X VALOR TOTAL DOS PROJETOS APROVADOS
- FIGURA II - 1 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BRITADOR DE MANDÍBULA
FIGURA II - 2 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO CONE DE BRITAGEM
FIGURA II - 3 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BRITADOR DE CILINDROS
FIGURA II - 4 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BRITADOR DE IMPACTO
FIGURA II - 5 DETALHE DO MOINHO DE ROLOS OU DE GALGA
FIGURA II - 6 DIMENSÃO DE PARTÍCULAS X [%] RETIDA DE MATERIAL
FIGURA II - 7 CURVA GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO GRAÚDO, RETIDO NA PENEIRA 4,8 mm
FIGURA II - 8 CURVA GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO MIÚDO PASSANTE NA PENEIRA 4,8 mm
FIGURA II - 9 REPRESENTAÇÃO DA ARGAMASSA ADERIDA AO AGREGADO EXISTENTE NO CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADO RECICLADO
FIGURA II - 10 PORCENTAGEM EM MASSA DE PASTA DE CIMENTO ADERIDA ÀS PARTÍCULAS DOS AGREGADOS ORIGINAIS EXISTENTES NO AGREGADO RECICLADO [B.C.S.J – 1978]
- FIGURA III - 1 INÍCIO E FIM DE PEGA [RAVINDRARAJAH ET. AL. – 1987]
FIGURA III - 2 VARIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA EM FUNÇÃO DO AGREGADO E DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO [FRONDISTOU-YANNAS – 1977]
FIGURA III - 3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO X a/c, CIMENTO Tipo III
FIGURA III - 4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO X a/c, CIMENTO Tipo I
FIGURA III - 5 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM FUNÇÃO DA QUALIDADE DO AGREGADO RECICLADO [RAVINDRARAJAH E TAM – 1985]
FIGURA III - 6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS COM AGREGADOS DE ALVENARIA [AKHTARUZZAMAN E HASNAT – 1996]
FIGURA III - 7 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO X TEOR DE MATERIAL RECICLADO [G. DI NIRO-1996]
FIGURA III - 8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO [TAVAKOLI E SOROUSHIAN – 1996]
FIGURA III - 9 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CONCRETOS RECICLADOS X CONCRETOS CONVENCIONAIS [RASHEEDUZZAFAR E KHAN – 1984]
FIGURA III - 10 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO E NA COMPRESSÃO DIAMETRAL X RELAÇÃO A/C
FIGURA III - 11 MÓDULO DE ELASTICIDADE [YANNAS – 1997] CIMENTO TIPO III
FIGURA III - 12 MÓDULO DE ELASTICIDADE [YANNAS – 1997] CIMENTO TIPO I
FIGURA III - 13 MÓDULO DE ELASTICIDADE [RAVINDRARAJAH ET. AL. – 1987]
FIGURA III - 14 MÓDULO DE ELASTICIDADE [RASHEEDUZZAFAR E KHAN – 1984]
FIGURA III - 15 MÓDULO DE ELASTICIDADE [B. C. S.J. – 1978]
FIGURA III - 16 DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE CARGA [WESCHE E SCHULZ – 1982]
FIGURA III - 17 RETRAÇÃO POR SECAGEM EM FUNÇÃO DA IDADE [RAVINDRARAJAH ET. AL – 1987]
FIGURA III - 18 EXEMPLO DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA COM MATERIAL RECICLADO EM TELAVIVE
FIGURA III - 19 EXEMPLO DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA COM MATERIAL RECICLADO EM BUENOS-AIRES
FIGURA III - 20 EXEMPLO DE PRODUÇÃO DE ARGAMASSA COM MATERIAL RECICLADO EM SÃO PAULO
FIGURA III - 21 REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA COM MATERIAL RECICLADO, OBR.A SITUADA RUA CONSELHEIRO BROTERO, 1263 – SÃO PAULO. CONCLUÍDA EM 1987
FIGURA III - 22 REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA COM MATERIAL RECICLADO, OBRA SITUADA RUA GABRIEL DOS SANTOS, 423 - SÃO PAULO. CONCLUÍDA EM 1987
FIGURA III - 23 REVESTIMENTO EXTERNO DE ARGAMASSA COM MATERIAL RECICLADO, OBRA SITUADA AV. ANGÉLICA, 1757 – SÃO PAULO, CONCLUÍDA EM 1995
FIGURA III - 24 RETENÇÃO DE ÁGUA DE 14 CALES EXISTENTES NO MERCADO BRASILEIRO
FIGURA III - 25 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE ÁGUA, RECICLADOS X CONVENCIONAIS
FIGURA III - 26 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS [PINTO- 1986]
FIGURA III - 27 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARA ARGAMASSAS COM DIFERENTES MATERIAIS RECICLADOS [LEVY E HELENE –1995]
FIGURA III - 28 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO SOBRE BLOCOS CERÂMICOS. [LEVY E HELENE – 1995]
FIGURA III - 29 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO SOBRE BLOCOS DE CONCRETOS. [LEVY E HELENE – 1995]
FIGURA III - 30 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BRIQUETES COM MATERIAL RECICLADO EM FUNÇÃO DO TEOR DE CIMENTO UTILIZADO [PINTO - 1992]
FIGURA III - 31 DESGASTE POR ABRASÃO LOS ANGELES PARA DIFERENTES AGREGADOS [PINTO- 1992]

FIGURA IV - 1 GRANULOMETRIA DE ARGAMASSAS E MATERIAL CERÂMICO RECICLADO VISTA NO ESTEREOSCÓPIO ÓPTICO,
COM AUMENTO DE 80 VEZES
FIGURA IV - 2 VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE RETENÇÃO DE AGUA.
FIGURA IV - 3 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO PARA OS TRAÇOS 1: 3: 8 E 1: 1,5: 6
FIGURA IV - 4 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO PARA OS TRAÇOS 1: 3: 8 E 1: 1,5: 6
FIGURA IV - 5 EVOLUÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA OS TRAÇOS 1: 3: 8 E 1: 1,5: 6
FIGURA IV - 6 VELOCIDADE DA CARBONATAÇÃO PARA AS DIVERSAS ARGAMASSAS
FIGURA IV - 7 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DISPONÍVEIS

RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS E CONCRETO

Salomon Mony Levy

LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 SÍNTESE DE PESQUISAS, EVENTOS E NORMAS EXISTENTES NA ÁREA DE RECICLAGEM
- TABELA 2 PROPOSTA JAPONESA DE NORMALIZAÇÃO, PARA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS NA PRODUÇÃO DE CONCRETO. QUALIDADE REQUERIDA PARA OS AGREGADOS B.C.S.J. [1977]
- TABELA 3 PROPOSTA JAPONESA DE NORMALIZAÇÃO PARA AGREGADOS RECICLADOS. QUANTIDADE MÁXIMA DE IMPUREZAS TOLERADA NOS AGREGADOS RECICLADOS. B. C. S.J. [1977]
- TABELA 4 CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS E RESISTÊNCIA MÁXIMA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO PERMITIDA. B.C.S.J. [1977]
- TABELA 5 PROPOSTA JAPONESA DE NORMALIZAÇÃO. UTILIZAÇÃO DE CONCRETO PRODUZIDO COM AGREGADOS RECICLADOS. B.C.S.J. [1977]
- TABELA 6 CLASSIFICAÇÃO DOS AGREGADOS GRAÚDOS RECICLADOS PARA CONCRETO. RILEM TC 12 1 -DRG [1993]
- TABELA 7 POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO DE CONCRETO RECICLADO RILEM TC 12 1 -DRG [1993]
- TABELA I - 1 COMPONENTES DO ENTULHO X FONTES GERADORAS [HONG KONG POLYTECHNIC – 1991]
- TABELA I - 2 COMPARATIVO ENTRE A COMPOSIÇÃO DO ENTULHO PROVENIENTE DE DIVERSAS FONTES
- TABELA I - 3 VOLUME TOTAL DE ENTULHO RETIRADO DA OBRA
- TABELA I - 4 MODELO PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DE ENTULHO GERADO EM OBRA NOVA [HONG KONG – 1992]
- TABELA I - 5 ESTIMATIVA DOS COMPONENTES DO ENTULHO PARA NOVAS OBRAS [HONG KONG – 1992]
- TABELA I - 6 COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE PREVISÃO DE VOLUME DE ENTULHO PARA SÃO PAULO
- TABELA II - 1 EQUIPAMENTOS DE BRITAGEM, UTILIZADOS PARA RECICLAGEM DE ENTULHOS
- TABELA II - 2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS AGREGADOS RECICLADOS, PRODUZIDOS POR DIVERSOS BRITADORES [B.C.S.J. – 1978]
- TABELA II - 3 CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE AGREGADOS MIÚDOS OBTIDOS POR RECICLAGEM DE COMPONENTES DE ENTULHO DE OBRA
- TABELA II - 4 ARGAMASSAS COM AGREGADO MIÚDO RECICLADO (CASOS REAIS)
- TABELA II - 5 ESTUDO DE DOSAGEM PARA DETERMINAÇÃO DO TRAÇO [DE PAUW – 1982]
- TABELA II - 6 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÉDIA, EM MPA; DE BLOCOS PRODUZIDOS COM ENTULHO RECICLADO [DE PAUW – 1982]
- TABELA II - 7 GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO [HANSEN E NARUD – 1983]
- TABELA II - 8 PORCENTAGEM DE MATERIAL PASSANTE PELA # 4,8 mm
- TABELA II - 9 MASSA ESPECÍFICA E ABSORÇÃO DE ÁGUA DE AGREGADOS RECICLADOS DE ARGAMASSAS [HANSEN E NARUD - 1983]
- TABELA II - 10 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS NATURAIS E RECICLADOS [HASABA ET AL - 1981]
- TABELA II - 11 PROPRIEDADES DOS AGREGADOS NATURAIS X PROPRIEDADES DOS AGREGADOS RECICLADOS [HANSEN E NARUD – 1983]]
- TABELA II - 12 TEORES DE IMPUREZAS EM RELAÇÃO AO VOLUME DE AGREGADOS CAPAZES DE PROVOCAR REDUÇÃO DE 15% NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO [B.C.S.J. – 1977]
- TABELA II - 13 PRINCIPAIS IMPUREZAS E SUAS CONSEQÜÊNCIAS QUANDO INTRODUZIDAS NO CONCRETO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS
- TABELA II - 14 TIPOS DE IMPUREZAS E RECOMENDAÇÕES DE USO E POSSÍVEIS INFESTAÇÕES PATOLÓGICAS
- TABELA II - 15 COMPARATIVO DE CUSTOS DE ARGAMASSA, (MATERIAIS)
- TABELA II - 16 COMPARATIVO DE CUSTOS DE ARGAMASSA, (EQUIPAMENTOS)
- TABELA III - 1 ABSORÇÃO DE ÁGUA DE AGREGADOS [WELDER E HUMMEL – 1946]
- TABELA III - 2 VARIAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DO CONCRETO FRESCO EM FUNÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO DOS AGREGADOS
- TABELA III - 3 CONCRETOS UTILIZADOS [RAVINDRARAJAH ET AL - 1987]
- TABELA III - 4 MASSA UNITÁRIA E PORCENTAGEM DE AR APRISIONADO [HANSEN E NARUD-1983]
- TABELA III - 5 CONCRETOS DE AGREGADOS RECICLADOS ENSAIADOS POR [FRONDISTOU-YANNAS – 1977]
- TABELA III - 6 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM FUNÇÃO DA QUALIDADE DO AGREGADO RECICLADO [RAVINDRARAJAH E TAM – 1985]
- TABELA III - 7 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS AGREGADOS, TIJOLOS BRITADOS E AREIA UTILIZADA POR [AKHTARUZZAMAN E HASNAT- 1996]
- TABELA III - 8 CONCRETOS COM AGREGADO DE TIJOLO BRITADO [AKHTARUZZAMAN E HASNAT- 1996]
- TABELA III - 9 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO [RASHEEDUZZAFAR E KHAN – 1984]
- TABELA III - 10 COMPARAÇÃO ENTRE DEFORMAÇÕES DE CONCRETOS RECICLADOS E CONVENCIONAIS [RAVINDRARAJAH E TAM-1985]
- TABELA III - 11 RETRAÇÃO POR SECAGEM PARA CONCRETOS ORIGINAIS E COM AGREGADOS RECICLADOS AOS 440 DIAS A 25°C E 40% U.R.- [HANSEN E BOEGH- 1985]
- TABELA III - 12 TIPO DE ENTULHO UTILIZADO PARA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS [LEVY E BELENE - 1995]
- TABELA III - 13 RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO [CARVALHO JR- ET AL. – 1995]
- TABELA III - 14 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO COM MATERIAL RECICLADO [DE PAUW-1982]
- TABELA IV - 1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS COMPONENTES USADOS NA PREPARAÇÃO DO ENTULHO

TABELA IV - 2 CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO E DOS COMPONENTES DO ENTULHO

TABELA IV - 3 MASSA UNITÁRIA DO ENTULHO (UTILIZADO COMO ADIÇÃO) PREPARADAS EM LABORATÓRIO

TABELA IV - 4 PROPORÇÃO DAS ADIÇÕES. EM VOLUME

TABELA IV - 5 CORRESPONDÊNCIA ENTRE O TRAÇO EM VOLUME E EM MASSA DAS ARGAMASSAS ENSAIADAS

TABELA IV - 6 VALORES DA MASSA UNITÁRIA DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

TABELA IV - 7 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS, OBTIDAS PARA CONSISTÊNCIA DE 310 ± 10 mm

RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL, PARA UTILIZAÇÃO DE ARGAMASSAS E CONCRETO

Salomon Mony Levy

RESUMO

Inicialmente aborda-se o estado da arte ou do conhecimento sobre o tema reciclagem. do entulho de construção civil, mostrando, onde, quando, por quê foi e por quê está sendo reciclado o entulho de construção civil no país e no exterior.

A seguir estão indicadas quais suas fontes geradoras, sua composição e uma forma de prever a quantidade de entulho a ser gerada em função da área ou do valor do empreendimento a ser construído.

Apresenta-se unia avaliação de desempenho de concretos e argamassas em estado fresco e endurecido, produzidos com agregados reciclados, comparando os dados disponíveis na literatura nacional e estrangeira.

Foram coletados uniformizados e moídos em 4 (quatro) obras da capital de São Paulo os 2 (dois) componentes argamassa endurecida e bloco cerâmico, encontrados em maior proporção no entulho de construção civil. Estes componentes levados ao laboratório foram misturados entre si em diferentes proporções para obtenção de 4 (quatro) diferentes tipos de entulho reciclado, utilizado no preparo e avaliação de argamassas em princípio destinadas a revestimento.

Os resultados obtidos demonstram: a) materiais cerâmicos reciclados (finamente moídos) são tecnicamente apropriados para utilização em argamassas; b) as propriedades mecânicas das argamassas apresentam grande incremento em função do teor de materiais cerâmicos existentes em sua composição; c) o incremento nas propriedades mecânicas, possivelmente ocorre em razão de um potencial aglomerante desenvolvido pela atividade pozolânica, e pelo efeito "filler" apresentado pelos materiais cerâmicos; e d) as argamassas produzidas com material reciclado, apresentam uma economia de 30% no consumo de cimento, em média, quando comparadas a argamassas convencionais.

Todavia, é importante a realização de um estudo complementar para se avaliar o comportamento ao longo do tempo e a durabilidade destas argamassas.

RECYCLING WASTE MATERIALS FOR USE LIKE AGGREGATE, IN MORTAR AND CONCRETE

Salomon Mony Levy

ABSTRACT

First of all it will be broach the state-of-art about waste material recycling it will be broach the state-of-art about waste material recoiling, showing where when and why is being recycled the waste material inside and outside the-country.

The composition and waste sources are presented. The estimation models for achieve the amount of waste materials as surface or build costs are also discussed .

The performance evaluation of mortars and concrete, in fresh and hardened sate, are discussed using bibliography data.

The main material achieved in waste material from construction in São Paulo are bricks and mortars . these principal components, clay burned and mortars, was mixed in different proportions to have four (4) types of recycled waste materials mortars are prepared using these recycled materials looking for rendering walls.

The results showed; a) recycled clay materials are appropriated to have mortars, b) the recycled clay materials increase the mechanical proprieties of mortars c) the recycled mortar have a good cost effective because it is possible to reduce the cement content in about 30% to have the same performance.

It's necessary to keep evaluation the long time behaviour and durability of these recycled mortars.

INTRODUÇÃO

1 . *Justificativa e importância do estudo*

Têm-se observado que nos dias atuais os construtores preocupam-se com o aprimoramento dos métodos construtivos para atingir uma redução no custo do preço final de seus produtos, uma vez que o mercado atual é cada vez mais competitivo.

É notável também o espírito ecológico que surgiu nos últimos anos entre todas as nações mais desenvolvidas do Planeta; também é inegável o fato de que empresários em geral e construtores em particular, têm sempre voltado esforços e dirigido interesses muito mais para o campo das realizações financeiras e pessoais do que para a solução dos problemas, ecológicos da humanidade e, mesmo assim, vidos deles, investem maciçamente na área de reciclagem do entulho de construção civil.

Constata-se que, no mundo inteiro, as instalações para reciclagem se multiplicam e se sofisticam cada vez mais. Isso ocorre, não só pela consciência e espírito ecológico de construtores e empreendedores, mas também, pelo fato da reciclagem além de ser uma solução largamente empregada em atividades industriais, como produção de vidro, de alumínio, de cobre, de papel, e de aço entre outras, deve estar apresentando alguns resultados positivos quando analisada sob critérios econômicos.

A partir do início deste século o Homem utilizou principalmente estruturas de concreto armado para construção de obras dos mais variados tipos.

Admitindo-se que, a maioria das obras seja construída com o máximo rigor técnico e com os cuidados necessários para ter uma vida útil que não seja reduzida por manifestações patológicas indesejáveis, proveniente de falhas executivas; e que, por outro lado, as obras são projetadas para uma vida útil de 50 (cinquenta) anos, em média, pode-se concluir que:

logo no início do terceiro milênio, haverá uma infinidade de obras completando sua vida útil. Consequentemente, a humanidade estará diante do seguinte dilema:

-Investir em algum sistema de manutenção preventiva e principalmente corretiva, capaz de prevenir ou restaurar o desgaste natural das estruturas, a fim de evitar sua total degradação, permitindo assim o prolongamento de sua vida útil, por algumas décadas.

Ou simplesmente demolir a estrutura e reconstruir uma nova no local, de acordo com uma concepção arquitetônica mais moderna, mais arrojada e mais funcional.

Evidentemente, a solução deste conflito não é simples, a decisão de qual das alternativas é a mais correta, dependerá não só de um minucioso estudo técnico mas principalmente, de uma acurada análise de custo/ benefício.

Se esta análise indicar que o custo da intervenção será tão elevado que a única solução economicamente viável é a demolição da obra, ficará a pergunta: *Qual o tratamento mais adequado a ser conferido ao entulho proveniente das demolições?*

Utilizá-lo para construção de aterros, ou utilizá-lo como fonte de matéria-prima para produção de agregados miúdos e graúdos em argamassas e concretos, ou até na produção de artefatos de

concreto, como vem acontecendo em diversas nações do Primeiro Mundo e em nosso País, pode e deve ser uma das respostas adequadas a esta questão.

Independentemente da solução adotada, segundo Laguette¹ [1995] haverá um aumento sem precedentes de utilização da reciclagem para produção de agregados, citando como exemplo o fato de que na Alemanha, em 1992, existiam cerca de 550 instalações de britagem em operação e sua expectativa, é de que este número dobre até 1998, prevendo-se que a produção de material reciclado passe dos atuais 45 milhões de toneladas para 130 milhões até o final do ano 2000.

De acordo com previsões publicadas, pela Environmental Resources Limited [1980] foi estimado que a produção anual de entulho de concreto produzido nos Países membros da Comunidade Européia, deverá passar dos atuais 55 milhões de toneladas para 162 milhões até o final do ano 2000; esta previsão baseia-se na projeção da demanda por agregados e na quantidade de obras passíveis de serem demolidas por terem completado sua vida útil.

Todavia, a atual recessão pela qual o mercado habitacional europeu está passando, poderá tomar estes números muito menores que a realidade esperada, mas por outro lado, o ingresso de novos membros na Comunidade Européia deverá aumentar o número de demolições, equilibrando a distorção dos resultados devido à tendência recessiva.

Segundo AJDUKIEWICZ; KLISZCZEWICZ [1996] durante os anos da década de 90 só a massa total de entulho de concreto produzida no mundo deve exceder 1.000 milhões de toneladas/ano.

Além de todo este material proveniente de demolição, haverá o entulho proveniente do desperdício de processos construtivos atualmente em vigor; portanto, a construção civil deverá aprimorar muito sua forma de trabalho ao mesmo tempo que, os órgãos públicos deverão adotar medidas de incentivo aos construtores para que utilizem soluções, como as que vêm sendo modernamente empregadas e que permitem reciclar no próprio canteiro todo o entulho mineral gerado. Dessa forma, poderá ser amenizado um dos problemas do próximo milênio, que será o de gerar espaço físico para disposição de todo este volume de material descartado.

A importância deste estudo não está em apresentar a solução do dilema: *o que fazer com o entulho, reciclar ou aterrar*, mas em apresentar o atual estágio de conhecimento existente no País e no Exterior sobre os diversos usos e tratamentos a ele conferidos. Apresenta-se também os principais itens da normalização atual, os padrões de qualidade, estabelecidos para a produção de agregados, além de procurar determinar quais as vantagens e desvantagens advindas da utilização de cada componente do entulho, na durabilidade e nas propriedades mecânicas de argamassas e concretos.

2. Pesquisas e normalização existentes no país e no exterior

Com o intuito de abordar a evolução dos principais acontecimentos na área entendeu-se que seria necessário saber:

Onde teria sido reciclado o entulho de construção pela 1ª vez?

Segundo diversos autores alemães, GRÜN [1935], WALZ [1949], HELLER [1958] LAMPRECHT [1980/84] há notícias de obras executadas com agregados de tijolos britados já nas

¹ Jean Michel Laguette é especialista em reciclagem do Grupo Nordberg, multinacional de origem francesa.

cidades do Império Romano. Também os canais de concreto de Eiffel, cuja finalidade foi garantir o suprimento de água da cidade de Colônia na Alemanha, são exemplos de estruturas onde a mistura aglomerante e agregado foi composta por cal e entulho de alvenaria, sendo o endurecimento resultante de uma reação pozolânica.

Quando teria iniciado o desenvolvimento das técnicas de reciclagem ?

Por volta de 1860, na Alemanha foram utilizadas sobras de blocos de concreto de cimento Portland, na produção de artefatos de concreto.

Entretanto, só a partir de 1928, começaram a ser desenvolvidas pesquisas de forma sistemática, para avaliar o efeito do consumo de cimento, da quantidade de água e da granulometria dos agregados, oriundos de alvenaria britada. Porém, a 1ª aplicação significativa do uso de entulho reciclado, só foi registrada após o final da 2ª Guerra Mundial na reconstrução de diversas cidades Européias que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e o escombros ou entulho resultante, britado para produção de agregados WEDLER; HUMMEL [1946].

Assim, pode-se dizer que, a partir de 1946 teve início o desenvolvimento da tecnologia de reciclagem do entulho de construção civil.

Por quê teria sido reciclado tanto entulho?

Tendo sido iniciada a reconstrução das cidades Européias no período pós Segunda grande guerra, cresceu a demanda por materiais de construção, sem contar a necessidade premente de remover as ruínas. Para suprir a demanda por materiais de construção e minimizar o custo decorrente das operações de limpeza, a opção das autoridades locais por reciclar todos estes materiais foi evidente. Para dar uma idéia da quantidade de material disponível, o volume de entulho existente nas cidades alemãs na época, foi estimado em 400 a 600 milhões de m³.

Como exemplo dos resultados obtidos na Alemanha vale a pena citar alguns dados mencionados por HELLER [1958]:

- Em 1955 as instalações de reciclagem lá existentes produziram algo em torno de 11,5 milhões de m³ de agregados, com os quais foram construídas 175.000 unidades habitacionais.
- Conforme estatística elaborada pela associação das cidades alemãs, no final de 1956 cerca de 85% do entulho da segunda grande guerra havia sido removido.
- Em 1960 todo entulho oriundo da segunda grande guerra existente na República Federal da Alemanha havia sido reciclado.

Por quê continua sendo reciclado o entulho hoje?

As sociedades que atualmente adotam esta política, o fazem por uma das razões seguintes:

- Preservar recursos minerais não renováveis.
- Suprir a demanda de agregados em países desenvolvidos que convivem com problema crônico de escassez de matéria-prima.

- Apresentar uma alternativa de desenvolvimento para a indústria de equipamentos para mineração e britagem, uma vez que a pressão exercida por movimentos ambientalistas em diversos países tem dificultado cada vez mais a exploração de recursos naturais; os equipamentos para reciclagem são basicamente os britadores tradicionais com algumas pequenas adaptações.

Felizmente a maioria das nações mais desenvolvidas como Japão, Dinamarca, Holanda e Bélgica entre outras, já percebeu a necessidade de reciclar as sobras, da construção civil e tem pesquisado intensamente o assunto visando atingir determinado grau de padronização dos procedimentos adotados para obtenção de agregados, atendendo aos limites que permitem atingir um padrão mínimo de qualidade.

Porém, como a reciclagem na construção civil ainda não é uma idéia amplamente difundida, mesmo na Europa que ainda não adota uma política regional capaz de coibir o uso indiscriminado de recursos minerais não renováveis para produção de agregados, há um desperdício de algo equivalente a 200 milhões de toneladas anuais entre concreto, pedras e recursos minerais valiosos. Este volume de materiais seria suficiente para construir uma rodovia com 6 (seis) faixas de rolamento interligando as cidades de Roma e Londres LAGUETTE [1995].

Apresenta-se, na Tabela 1, um a síntese das principais pesquisas, eventos e normalização desenvolvida nas últimas décadas.

Tabela 1 Síntese de pesquisas, eventos e normas existentes na área de reciclagem.

Data	Ocorrência	Localidade
1976	Formação do Comitê Técnico da RILEM TC 37 DRC "Demolição e Reutilização de Concreto".	CE
1977 (junho)	1ª reunião realizado no BRE Building Reserach Establishment, sob a presidência do Dr. L. H. Everett foi organizado pelo Comitê RILEM TC 37 DRC, formado no ano anterior.	Gastron Grã- Bretanha
1977	<u>I.R.S.T.A.</u> ² - <u>C.S.T.C.</u> ³ , [De PAUW - 1982], iniciaram uma pesquisa cuja experiência e resultados acumulados foram posteriormente aplicados para reciclagem das ruínas da cidade argelina de El-Asnam.	Bruxelas - Paris
1978	Publicado 1º Relatório RILEM TC 37 DRC Estado da arte da "Reciclagem de Concreto, para Utilização como Agregado de Concreto"	Gastron Grã- Bretanha
1980 (outubro)	Abalo sísmico de intensidade 7.3 na escala Richter destruiu literalmente a cidade de El Asnam gerando cerca de 3,0 milhões de toneladas de entulho, as quais foram recicladas e puderam ser empregadas na produção de 50,0 milhões de blocos de concreto, utilizados na reconstrução da cidade, trabalho realizado com acessória do professor Dr. De PAUW	El-Asnam Argélia
1981	O Comitê RILEM TC 37 DRC é reestruturado e HANSEN nomeado seu presidente	CE
1982 dezembro	IIª reunião de "Demolição e Reutilização de Concreto". A partir desta data, o Comitê RILEM TC 37 DRC promoveu reuniões anuais tanto na Holanda, França, Inglaterra, Bélgica e Japão	Copenhague Dinamarca
1985 junho	I Simpósio Internacional de Demolição e Reaproveitamento de Concreto e Alvenaria EDA ⁴ - RILEM	Roterdã Holanda
1988 novembro	II Simpósio Internacional de Demolição e Reaproveitamento de Concreto e Alvenaria - RILEM Nesta data o Comitê RILEM TC 37 DRC deu por encerradas suas atividades e foi formado novo comitê o RILEM 121-DRG para prosseguir com as pesquisas e experiência acumulada, além de prestar apoio na formulação das diretrizes na área de reciclagem, HANSEN [1992]	Tóquio Japão
1993 outubro	III Simpósio Internacional de Demolição e Reaproveitamento de Concreto e Alvenaria RILEM 121-DRG	Odense Dinamarca
1996 junho	Congresso Internacional, Concreto a Serviço da Humanidade, no qual, em uma das 5 (cinco) conferências apresentadas, foram abordados diversos temas sobre reciclagem e reutilização de concretos e alvenarias - Universidade de Dundee	Escócia Reino Unido

² I.R.S.I.A.; Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture.

³ C.S.T.C.; Centre Scientifique et Technique de la Construction

⁴ E.D.A.; European Demolition Association

Todos estes Congressos e pesquisas anteriormente indicados, são considerados como acontecimentos internacionais dos mais relevantes na área, cuja importância ressaltada pelas entidades que cooperaram na sua realização.

No caso do III Simpósio Internacional de Demolição e Reutilização de Concreto Alvenaria a RILEM teve a cooperação das seguintes entidades: UNESCO, American Concrete Institute (ACI), International Solid Waste Association (ISWA), Danish Concrete Association (DBF), European Network of Building Research Institutes (ENBRI), Conseil International du Bâtiment (CIB), International Decade of Natural Disaster Reduction (IDNDR), UN Center for Regional Development (UNCRD), e Deutscher Beton-Verein E.V. (DVB); sendo que a organização deste congresso esteve a cargo do Danish Building Research Institute auxiliado por um comitê presidido pelo Professor Dr. Bjarne Jensen, e o Comitê Técnico estabelecido pela RILEM TC 121-DRG sob a presidência de Erik K. Lauritzen. Durante o Simpósio, foram apresentados 35 artigos selecionados entre 50 recebidos, a uma audiência de 140 pessoas inscritas e provenientes de 23 diferentes países de todas as partes do mundo, [LAURITZEN, - 1994]

Os tópicos abordados nesse III Simpósio foram:

- Integração entre demolição, reciclagem e gerenciamento de resíduos.
- Experiências em demolições e linhas a seguir.
- Experiências em reciclagem e linhas a seguir.
- Especificações da RILEM de agregados para novos concretos.
- Demolições e reciclagem após desastres.
- Desenvolvimento das técnicas de demolição.
- Reciclagem e propriedade dos materiais.
- Exemplos de reutilização de materiais de concreto e alvenarias.

As conclusões em linhas gerais foram que a demanda de demolição e reciclagem inevitável e os processos empregados se sofisticam cada dia mais. A reutilização de sobras de materiais está intimamente ligada à demanda e ao preço dos materiais. As técnicas mais modernas de demolição, apresentadas pelos japoneses, dão uma clara indicação de que o Japão está se distanciando dos outros países na liderança do desenvolvimento de técnicas de demolição que não agredam o meio ambiente.

A demonstração dos dinamarqueses na Casa de Reciclagem em Odense comprova o fato de não haver limites para a reciclagem, embora ainda existam barreiras a serem superadas. Porém ainda a questão principal não é a possibilidade de construção de novas casas com material reciclado e sim a otimização de todos os recursos disponíveis, por exemplo em alguns países o preço da terra é tão elevado que a criação de novas áreas será altamente vantajosa, já em outros países os agregados são raros e será economicamente interessante a utilização de material reciclado na construção civil. [LAURITZEN – 1994]

Participaram do Congresso Concreto a Serviço da Humanidade - o American Concrete Institute (ACI); Concrete Association of Finland. Concrete Institute of Australia; Concrete Society of Southern África; Concrete Society, UK; German Concrete Association (DVB); Indian Concrete Institute; Institute of Concrete Technology, UK; Institution of Civil Engineers, UK; Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, Japan Concrete Institute; Netherlands Concrete Society; Norwegian Concrete Association (NB) RILEM, France. O fato do IBRACON ter participado é uma indicação de no Brasil o tema já começa a despontar interesse.

A organização esteve a cargo do Departamento de Tecnologia do Concreto da Universidade de Dundee da Escócia presidido pelo Professor Ravindra K Dhir, por um Comitê de Conselheiros

Internacionais do qual participaram professores dos mais variados centros de pesquisas situados em várias partes do Mundo e um Comitê Técnico estabelecido por professores, consultores e diretores técnicos do Reino Unido. Durante a Conferência, foram apresentados um total de 70 artigos por seus autores, procedentes de diferentes países de todas as partes do mundo, dos quais 44 abordavam assuntos relativos à reciclagem e reaproveitamento de resíduos em geral, sendo que dois deles são de autoria de pesquisadores brasileiros, [PINTO e AGOPYAN] e [HAMASSAKI et. al.]

A seguir, apresenta-se resumidamente trabalhos que estão sendo ou já foram desenvolvidos nos principais centros de pesquisas no Exterior e no País, bem como a situação da normalização na área da reciclagem e reutilização do entulho de construção civil.

ESTADOS UNIDOS

As pesquisas estão direcionadas para a normalização e aceitação da utilização de agregados reciclados por meio de britagem de concretos de demolição, sendo que a grande área de aplicação destes agregados tem sido a construção de pavimentos rodoviários.

Entidades como a ASTM-American Society for Testing Materials e departamentos como o US Army Corps of Engineers e o Iowa Department of Transportation têm se dedicado a produzir uma norma que especifique limites de tolerância para aceitação dos agregados reciclados a serem utilizados na produção de concretos novos.

Desde 1982 a ASTM C33-82 no parágrafo 8.1 na definição de agregado graúdo, inclui os materiais obtidos a partir da britagem do concreto de cimento hidráulico. A ASTM C125-79 introduziu definições de termos relativos ao concreto e agregados graúdos e miúdos obtidos a partir da britagem de concreto de cimento Portland., analogamente, o US Army Corps of Engineers, alterou as especificações de forma a incentivar a utilização da reciclagem de concreto para obtenção de agregados a serem utilizados na produção de concretos. [BUCK, - Comunicação Interna]².

Parece que num futuro próximo, não haverá nos Estados Unidos fatores limitantes e restritivos à produção de concretos que utilizam agregados reciclados de concretos de cimento Portland, e que os Estados Unidos também estão prestes a aceitar e utilizar pavimentos em concreto, produzidos com agregados reciclados, com a mesma naturalidade com que se utiliza este tipo de pavimento produzido com agregados convencionais. Os agregados reciclados estão na iminência de serem aceitos como material de consumo normalizado e corriqueiro, para produção de concreto de pavimentos rodoviários, uma vez que os estudos e ensaios especiais para sua aceitação e utilização, estão na sua fase final [HANSEN- 1992].

Segundo um relatório anônimo, [Recycling Portland Cement Concrete]³ não tem havido problema nos Estados Unidos para se especificar e normalizar a utilização de agregados reciclados na produção de concretos destinados a pavimentos, rodoviários. Além do mais, os Departamentos de Estradas de Rodagem de alguns Estados americanos têm desenvolvido suas próprias especificações.

Especificamente, segundo HUISMAN e BRISTON [1981] as principais exigências que o Departamento de Transportes do Estado de Iowa requer nas suas especificações são as que estão relacionadas a seguir:

² Original não localizado apud HANSEN [1992]

³ Original não localizado apud HANSEN [1992]

1. Que a avaliação para determinar a viabilidade ou não da britagem de um pavimento existente, para posterior reaproveitamento como agregado, esteja exclusivamente a cargo do Contratado;
2. Quando houver a presença de asfalto na superfície, este deverá ser retirado antes de se iniciar a remoção do concreto à base de cimento Portland. Todavia, será tolerada a existência de áreas isoladas e dispersas de concreto asfáltico aderido à superfície do piso, desde que em espessuras inferiores a 2,54 cm. (1");
3. Durante a remoção do pavimento de cimento Portland a ser reciclado, seja tomado todo cuidado de forma a se assegurar o mínimo de contaminação do concreto, com o material da sub-base;
4. Os equipamentos instalados deverão dispor de meios capazes de controlar o excesso de finos, sendo que o máximo admissível passante pela peneira # 200 não poderá exceder 5% (cinco por cento) em massa seca. Normalmente, considera-se recomendável a lavagem do produto final, antes de sua utilização;
5. A armadura eventualmente retirada da demolição será de propriedade da Contratante e deverá permanecer à sua disposição na obra;
6. O concreto com material reciclado, deverá ser adequado para o uso a que se destina, sem adição de frações finas naturais. Entretanto, sua trabalhabilidade e facilidade de acabamento, poderá ser aumentada através da adição de uma quantidade de agregado miúdo de até 25% (vinte e cinco);
7. Via de regra, a proporção entre agregados graúdos e miúdos reciclados, deverá ser tal, uqe sejam consumidos na proporção em que são produzidos. Entretanto, para se obter trabalhabilidade adequada poderá ser conveniente a adição de certa quantidade de agregado miúdo natural.

HOLANDA

Ao longo dos anos, desenvolveram-se diversas pesquisas nesta área e o C.U.R-Commissie vor Uitvoering van Research (Comissão para Desenvolvimento da Pesquisa), propôs uma norma para produção de concreto, simples, armado e protendido com utilização de agregados obtidos pela reciclagem de concreto. Esta norma, cujo texto encontra-se na íntegra na referência CUR [1986] aplica-se quando no mínimo 20% (vinte) em massa da quantidade total dos agregados utilizados for proveniente de concreto reciclado. Quando os agregados utilizados para produção de concreto contiverem uma parcela inferior a 20% (vinte) em massa da quantidade total dos agregados utilizados e o restante dos agregados utilizados for areia natural, pedregulho ou pedra britada, os mesmos serão considerados como agregados naturais e esta especificação não se aplicará.

Quando são produzidos concretos com agregados reciclados, o projeto holandês para a nova norma de concreto VBT (1986) estabelece que seja acrescida em 10% a altura e a espessura das peças estruturais cujas dimensões sejam determinadas em função dos máximos esforços de flexão tolerados, pois, em geral o concreto produzido com agregados reciclados terá módulo de elasticidade menor e maior deformação lenta do que o concreto obtido com utilização de agregados convencionais, entretanto, se os agregados utilizados na produção de concreto contiverem apenas 20% de material reciclado e os restantes 80% forem materiais convencionais, desaparecem essas

exigências, uma vez que os concretos produzidos nessas condições são considerados concretos convencionais.

Além das normas para reciclagem de concreto a Holanda dispõe de uma norma CUR/VB [1984] que resume os resultados do maior estudo já executado nos Países Baixos para reciclagem de entulho misto (alvenaria e concreto), assunto que é tratado separadamente em virtude das propriedades totalmente diversas apresentadas pelos concretos obtidos com agregados provenientes de alvenaria ou de concreto.

JAPÃO

Como os Estados Unidos, o Japão também caminha na direção da normalização de agregados obtidos por reciclagem de estruturas e pavimentos de concreto demolidos. A “Building Contractors Society of Japan” -[B.C.S.J- 1977] publicou uma proposta para normalização e utilização de agregados reciclados destinados à produção de concretos.

A proposta de normalização introduziu e definiu termos como concreto original, agregados reciclados e concretos com agregados reciclados, que serão devidamente definidos no item terminologia desta dissertação.

Boa parte da Norma Japonesa não se diferencia do material encontrado nas diversas normas internacionais para concretos convencionais.

Os aspectos diferenciais mais relevantes abordados nessa norma são apresentados a seguir:

1. O concreto original (concreto a ser britado) deve estar são e não ter sido produzido com agregados leves.
2. Como regra geral, concretos de diferentes qualidades, devem ser utilizados separadamente.
3. Os materiais de acabamento, a armadura e impurezas devem ser removidos do concreto a ser britado da melhor forma possível.

A massa específica, a absorção de água, a quantidade de finos e o volume de sólidos dos agregados reciclados deverão estar de acordo com os dados da Tabela 2.

Tabela 2 Proposta Japonesa de Normalização, para utilização de agregados reciclados na produção de concreto. Qualidade requerida para os agregados. B.C.S.J. [1977]

Produto	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Propriedade		
Massa específica seca	$\geq 2200 \text{ kg/m}^3$	$\geq 2000 \text{ kg/m}^3$
Absorção de água em massa	$\leq 7\%$	$\leq 13\%$
Teor de finos em massa	$\leq 1\%$	$\leq 8\%$
Volume de sólidos em volume aparente	$\geq 53\%$	-

5. Os materiais reciclados não deverão conter impurezas, as quais poderão afetar adversamente o concreto e a armadura nele contida, estando a quantidade máxima tolerada de impurezas indicada na Tabela.

Tabela 3 Proposta Japonesa de Normalização para agregados reciclados. Quantidade máxima de impurezas tolerada nos agregados reciclados. [B. C. S. J. 1977]

Tipo de agregado	Impureza - I	Impureza - II
graúdo (obtido por reciclagem)	10 kg/m ³	2 kg/m ³
miúdo (obtido por reciclagem)	10 kg/m ³	2 kg/m ³

6. As impurezas prejudiciais podem ser determinadas de acordo com método de ensaio proposto, o qual se baseia na inspeção visual ou separação em dois líquidos com densidades 1950kg/m³ e 1200 kg/m³. Interessante notar que este foi o único método encontrado entre diversos países considerados desenvolvidos na área de reciclagem de entulho.

7. O concreto deve ser classificado conforme o tipo de agregado utilizado, de acordo com o mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 Concreto produzido com agregados reciclados e resistência máxima característica à compressão permitida. B. C. S. J. [1977]

Concreto com Agregado Reciclado Tipo	Tipo de Agregado		Valores Máximos de Resistência à Compressão	
	Agregado Graúdo	Agregado Miúdo	f _{ck} (MPa)	f _{ck} (MPa)
I	Agregado Reciclado (1)	Agregado Convencional	18,0	30,0 (2)
II	Agregado Reciclado (1)	Agregados Convencionais + Reciclados	15,0	27,0 (2)
III	Agregado Reciclado (1)	Agregado Reciclado	12,0	24,0 (2)

Nota (1) Incluindo mistura com agregados de massa específica usual.
(2) O consumo de cimento não poderá ser excessivo, maiores consumos devem ser empregados, sempre que a consistência da mistura assim obtida ficar seca

8. A resistência característica do concreto será determinada em função do tipo de agregado utilizado e deverá ser inferior aos valores máximos permitidos, apresentados na Tabela 4.

9. Os aditivos incorporadores de ar e redutores de água devem ser adicionados a qualquer concreto de forma a possibilitar que o teor de ar aprisionado esteja sempre entre 3% e 6%.

10. O abatimento para concretos produzidos de acordo com estas especificações deverá ser ≤ 210 mm.

11. A relação água/cimento em massa não deve exceder 0,70.

12. Consumo de cimento nunca inferior a 250 kg/m³.

13. Para produzir um concreto com agregados reciclados a quantidade de água utilizada deverá ser a menor possível⁴ e a relação entre agregado miúdo e graúdo deverá ser determinada de forma a se obter a consistência e a coesão desejadas.

14. Na Tabela 5 estão indicados quais os usos considerados mais adequados para concretos produzidos com agregados reciclados.

Tabela 5 Proposta Japonesa de Normalização. Utilização de concreto produzido com agregados reciclados. B.C.S.J. [1977]

Tipo de Concreto	Emprego principal
I	Fundação de prédios em geral, fundação de edifícios residenciais, residências térreas, edifícios comerciais de um pavimento, fundações pesadas
II	Fundação de edifícios não residenciais, construção não residencial leve e base de máquinas
III	Fundação para edificações de madeira, para fixação de mourões de cerca e portões, fundação simples de máquinas e lajes

REINO UNIDO

A nova norma Britânica 6543 “Utilização de subprodutos industriais, e sobras de materiais de construção e de engenharia civil”, engloba a utilização de sobras de demolição e sobras de materiais nos caso de construções rodoviárias e prediais. Apesar da falta de dados, em termos tecnológicos, até o momento, segundo a Norma acima, a utilização de agregados, obtidos pela britagem de concreto, é considerada adequada, em sub-base de pavimentos rodoviários e para uma larga faixa de aplicações em curso.

Pelo menos em princípio, ainda está longe de ser aprovada a utilização do entulho limpo de concreto e tijolos para produção de concretos novos capazes de atingir determinada resistência característica à compressão; isso é considerado um passo adiante em termos de técnicas de reciclagem para os conservadores ingleses [HANSEN -1992].

Atualmente, LINDSELL; MULHERON [1985] e MULHERON [1988] estão revendo a situação das normas existentes no Reino Unido.

URSS

Em 1984, o NIIZbh da URSS, Instituto de Pesquisas de Concreto e Concreto Armado publicou a primeira recomendação Russa “Norma e recomendações para reciclagem de produtos de concreto simples e armado”.

Segundo essas recomendações os agregados graúdos de concreto reciclado podem ser utilizados para:

⁴ A recomendação de menor quantidade possível de água possivelmente será para minimizar efeitos de retração por secagem pois em concretos com agregados reciclados esta propriedade é em média 50% mais elevada do que nos concretos convencionais como será visto no estudo das propriedades dos concretos com agregados reciclados.

1. Macadame e bases de pisos, fundações de prédios e estruturas além de pavimentos asfálticos com qualquer inclinação

2. Produção de concreto armado ou não com $5 \leq f_{ck} \leq 15$ MPa

3. Produção de concreto armado ou não com $f_{ck} \geq 20$ MPa, desde que adicionados em iguais proporções a agregados convencionais

Recomenda-se também que a parte fina da britagem do concreto seja utilizada como filler na produção de concreto asfáltico. Não é recomendada entretanto a utilização do material fino proveniente da britagem do concreto para a produção de novos concretos.

É vetada a utilização de agregados de concreto reciclado para produção de concreto protendido devido à sua alta retração e deformação bem como seu baixo módulo de elasticidade.

REPÚBLICA FEDERAL DA ALEMANHA

Na República Federal da Alemanha não é permitida a utilização de agregados obtidos a partir de reciclagem de concreto para produção de novos concretos, por causa de sua densidade, uma vez que ela é muito elevada para que possam ser considerados agregados leves, e com a britagem de concretos com f_{ck} inferior a 10 MPa, obtém-se agregados muito fracos para serem considerados como agregados convencionais. Até o presente momento é requerida individualmente para cada projeto a permissão para utilização desses agregados mas as permissões ainda não têm sido concedidas.

Entretanto, durante o período pós -guerra de 1945 a 1955 grandes quantidades de entulhos de alvenaria foram reprocessadas e reutilizadas em concreto.

Este fato resultou na publicação da norma alemã DIN. 4163, escrita especificamente para normalizar a produção e utilização de concreto de agregados obtidos por britagem de alvenaria. De acordo com as exigências desta norma, puderam ser obtidos concretos com massa unitária entre 1600 e 2100 kg/m³, com resistência característica máxima de 30 MPa e módulo de elasticidade de 15 GPa. Levando este fatos em consideração, autoridades da República Federal da Alemanha estão reconsiderando agora a posição contrária e restritiva quanto à utilização de concreto com agregado reciclado.

É importante mencionar a existência de uma Especificação Normativa da antiga Alemanha Oriental para utilização de entulho de demolição reciclado em obras rodoviárias, RAL - RG 501-1 [1985].

DINAMARCA

No início dos anos 90 a Dinamarca publicou um adendo à norma regular de concreto que permite a utilização de concretos produzidos a partir de agregados reciclados para alguns propósitos estruturais, desde que em meio ambiente não agressivo. [DIF. - 1989]

Este adendo distingue os concretos em duas categorias, os de resistência característica à compressão de até 20 MPa (GP1) e os de resistência característica à compressão de até 40 MPa (GP2).

Onde:

(GP1) representa os materiais reciclados de massa específica saturada com superfície seca em torno de 2200 kg/m³; tais materiais são agregados obtidos por meio de britagem de concreto estrutural.

(GP2) representa os materiais reciclados de massa específica saturada com superfície seca em torno de 1800 kg / m³; tais materiais são agregados obtidos por meio de britagem de entulho limpo de construção civil, mistura de concreto e alvenaria.

Ambos atendem às exigências estabelecidas pela norma dinamarquesa para concretos e agregados atualmente em vigor a qual não estabelece limites para materiais deletérios.

Esta norma ainda recomenda que o módulo de elasticidade de concretos produzidos com agregados reciclados do grupo GP1 e GP2 para efeito de cálculo estrutural, seja considerado 80% (oitenta) por cento e 50% (cinquenta) por cento respectivamente do valor do módulo do mesmo concreto produzido com agregados convencionais.

BÉLGICA

Como este foi um dos poucos Países a se defrontar com problemas técnicos advindos da utilização do entulho reciclado, na produção de concreto, que foi empregado na construção de duas pontes as quais, segundo DE PAUW [1996], tiveram que ser demolidas, conseqüentemente, as autoridades locais estão hesitando em aprovar as especificações existentes para utilização e reciclagem do entulho. Todavia o B.B.R.I, Belgian Building Research Institute, iniciou recentemente um projeto de pesquisa com o objetivo de esclarecer as questões levantadas em torno do assunto. O grande temor dos belgas é o desenvolvimento da reação álcali-agregado, que mesmo não ocorrendo no concreto original pela ausência de um dos componentes, poderá ocorrer no concreto novo desde que condições favoráveis apareçam, conseqüentemente a durabilidade da estrutura estaria comprometida e sua vida útil também.

Desde 1979, o WTCB/CSTC publicaram uma especificação geral para execução de obras pela iniciativa privada em Bruxelas que alterou as normas de colocação da armadura com o objetivo de facilitar os trabalhos de demolição e reciclagem.

Em seu trabalho permanente de pesquisa o B.B.R.I. tem se preocupado em determinar índices básicos e experimentais para avaliar a retração e a deformação lenta do concreto produzido com agregados reciclados De PAUW [1966].

BRASIL

Em nosso País, o assunto reciclagem de entulho começou a ser estudado por Tarcisio de Paula Pinto, desde 1983 mas só no final de 1995 começaram a operar em escala industrial as primeiras usinas de reciclagem.

Em Belo Horizonte a primeira usina, das quatro previstas, começou a operar normalmente no bairro do Estoril e vem processando 100 ton/dia de resíduos.

Em São Paulo e Londrina também estão em operação usinas de reciclagem, porém ainda sem conseguirem operar no máximo de sua capacidade por falta de matéria prima, pois ao contrário do

que ocorre em Belo Horizonte, toda carga é disposta em um único local e para muitos caminhoneiros é economicamente inviável a locomoção até a usina.

Os produtos reciclados por estas usinas são utilizados como agregados graúdos para estabilização de bases e sub-bases de obras rodoviárias ou como agregados miúdos para produção de blocos de vedação.

Este autor com a orientação do Professor Paulo Helene, em 1994, iniciou um trabalho de pesquisa o qual visa demonstrar tecnicamente a capacidade dos principais componentes do entulho em influir no desempenho de argamassas de revestimento e no preparo de concreto, com a redação da dissertação de mestrado intitulada “Reciclagem de Entulhos de Construção Civil para Utilização como Agregados de Argamassas e Concretos,” estará concluída a primeira etapa deste trabalho.

HAMASSAKI et al. [1996], ensaiaram em laboratório uma série de argamassas produzidas com agregados miúdos de entulho reciclado e compararam seu desempenho ao de uma argamassa de referência convencional; estudaram também a potencialidade dos materiais cerâmicos finamente moídos, os aspectos técnicos e as conclusões deste estudo estão discutidas no Capítulo III “Propriedades dos concretos argamassas e artefatos de concreto ...” desta dissertação.

Quanto à reciclagem do entulho no próprio canteiro de obra, há alguns anos desde 1985 no sul do Brasil, e particularmente em São Paulo, tem sido utilizado um moinho de rolos que além de transformar todas as sobras da obra, de origem mineral, em agregados miúdos com granulometria controlada em função do tempo de moagem; opera também como betoneira de eixo vertical misturando agregados e aglomerantes produzindo argamassas para assentamento de alvenarias, revestimento, e enchimento de pisos CAMARGO [1995].

Quanto à normalização existente em nosso País, foi publicado recentemente a norma elaborada pelo CB-02 Comitê Brasileiro de Construção Civil (NBR -2.02.17.0.04) que no seu item 3.3.3 termos relativos a adições define o entulho reciclado como *material proveniente da moagem de argamassas endurecidas, blocos cerâmicos, blocos de concreto ou tijolinhos maciços com dimensão máxima característica de 2,4 mm*

NORMALIZAÇÃO INTERNACIONAL

O grupo do comitê técnico da RILEM TC 121-DRG apresentou no 3º Simpósio Internacional sobre Demolição e Reutilização de Concreto e Alvenaria em 1993, especificações para classificação e utilização de agregados-reciclados cuja síntese mencionada a seguir

a) Classificação:

Tipo I- Agregados oriundos de material constituído predominantemente por entulho de alvenaria.

Tipo II- Agregados oriundos de material constituído predominantemente por entulho de concreto.

Tipo III- Agregados constituídos por mistura de agregados naturais e agregados reciclados.

Os agregados do Tipo III devem atender às exigências adicionais abaixo

-Conteúdo mínimo de agregados naturais 80% em massa;

-Conteúdo máximo de agregados Tipo I 10% em massa.

b) Especificações

As especificações técnicas são apresentadas na Tabela 6

Tabela 6 Classificação dos agregados graúdos reciclados para concreto. RILEM TC 121-DRG [1993]

Especificações	Tipo de agregado	tipo I CARG	tipo II CARG	tipo III CARG	Método de ensaio
Massa específica mínima material seco(kg/m ³)		1500	2000	2400	ISO6783&7033
Absorção de água máxima (%)		20	10	3	ISO6783&7033
Quantidade máxima de material SSS< 2200 kg /m ³ (%)		-	10	10	ASTM C123
Quantidade máxima de material SSS< 1800 kg /m ³ (%) ^a		10	1	1	ASTM C123
Quantidade máxima de material SSS< 1000 kg/ m ³ (%)		1	0.5	0.5	ASTM C123
Quantidade máxima de impurezas (vidro, betume plásticos) (%)		5	1	1	Visual
Quantidade máxima de metais (%)		1	1	1	Visual
Quantidade máxima de matéria orgânica (%)		1	0,5	0,5	NEN 5933
Quantidade máxima de finos < 0.063 mm (%)		3	2	2	prEN 933-1
Quantidade máxima areia <4 mm (%) ^b		5	5	5	prEN 933-1
Quantidade máxima de sulfatos (%) ^c		1	1	1	BS 812. part 118

^a Condição saturada com superfície seca

^b Se for excedido o limite da fração areia, esta parte do agregado deverá ser considerada como parte da areia total a ser utilizada.

^c Quantidade de sulfato deverá ser calculada como SO₃

As porcentagens constantes da tabela, referem-se a massa/massa.

CARG Concreto de Agregado Graúdo Reciclado.

SSS agregado na condição Superfície Saturada Seca

c) Recomendações para utilização dos concretos de agregados reciclados

Estão apresentadas na Tabela 7 as várias possibilidades de utilização dos concretos obtidos a partir de agregados reciclados.

Tabela 7 Possibilidades de utilização de concreto reciclado RILEM TC 121-DRG [1993]

Agregados Reciclados	CARG tipo I	CARG tipo II	CARG tipo III
Máxima resistência admitida	C16/20 ^a	C50/60	Não há limites
Verificação adicional solicitado quando utilizado em condições de exposição das classes 2a, 4a	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio de expansão ASR • Utilização nas condições de exposição da classe 4a não é permitida 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio de expansão ASR 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio de expansão ASR
Verificação adicional solicitado quando utilizado em condições de exposição das classes 2b, 4b	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização nas condições de exposição da classe 2a e 4b não é permitida 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio de expansão ASR • Ensaio de estabilidade dimensional nas condições gelo e degelo 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensaio de expansão ASR • Ensaio de estabilidade dimensional nas condições gelo e degelo
Verificação adicional solicitado quando utilizado em condições de exposição da classe 3	Utilização nas condições de exposição da classe 3 não é permitida	Ensaio de remoção de sais	Ensaio de remoção de sais

^a Poderá ser produzido um concreto de classe C30/37, desde que a massa específica do agregado na condição superfície saturada seca exceda 2000 kg/ m³.

^b Em conformidade com o código EN V206.

^c Ensaio de expansão para avaliar a reatividade álcali-silica.

Evidentemente existem inúmeros outros centros e pesquisadores como R. Sri Ravindrarajah da National University of Singapore; Rasheeduzzafar e Asfahanullah Khan da National University of Petroleum and Minerals, Dhahran, of Saudi Arabia., Ali A. Akgtaruzzam e Abul Hasnat da King Abdulaziz University of Jedah, Saudi Arabia, o Saudi Arabian National Center for Science and Tewology, a Hong Kong Polytechnic (Department of Building and Real State) pesquisando o tema, cada um a seu modo particular, procurou ressaltar determinado aspecto de um dos problemas que a humanidade está convivendo e terá de conviver até o final de seus dias, o gerenciamento do volume crescente do entulho de construção civil, originado ou pela necessidade de renovação de suas construções ou pelo desperdício inerente às técnicas construtivas empregadas no momento da realização das obras. Neste item, não foi dado destaque às Nações as quais pertencem estas entidades, uma vez que ainda não apresentam tradição sobre o tema e os trabalhos apresentados por enquanto restringem-se ao meio acadêmico. A seguir serão enumerados e apresentados os objetivos deste trabalho.

3. Objetivos

A realização deste trabalho permitirá:

1. *Apresentar* um panorama do estado da arte ou do conhecimento atual sobre a reutilização, reciclagem, e normalização do entulho de construção civil.
2. *Identificar algumas das* causas que dão origem ao entulho e como classificá-lo em função de sua composição.
3. *Prever* o volume gerado em função da área ou do valor do empreendimento a ser construído.

4. *Informar* a tecnologia adotada atualmente para reciclá-lo com segurança.

5. *Entender* fisicamente como a diferença existente entre agregados convencionais e reciclados atua, nas propriedades de concretos, argamassas e artefatos de cimento, através da análise dos trabalhos existentes citados na literatura.

6. *Avaliar* economicamente as possibilidades de utilização de materiais reciclados.

7. *Determinar* o grau de pozolanicidade dos resíduos cerâmicos existentes no entulho de obra.

8. *Avaliar* tecnologicamente através de um experimento, a contribuição do teor de materiais cerâmicos e das argamassas mistas endurecidas e carbonatadas no desempenho das argamassa produzidas com esses entulhos.

Uma vez apresentados os objetivos, a seguir será descrito sucintamente o conteúdo do trabalho.

4. Conteúdo do trabalho

Este trabalho é dividido em cinco capítulos e três anexos. Seu conteúdo apresenta de uma forma concisa um panorama do estado da arte a respeito da reciclagem de entulho na construção civil, procurando, mostrar, onde, quando e porquê o entulho é reciclado. São analisados os agregados graúdos e miúdos obtidos do entulho e suas principais propriedades físicas e mecânicas.

No Capítulo I apresenta-se a terminologia utilizada no desenvolvimento deste trabalho, visando com isso padronizar os termos empregados e facilitar a compreensão dos mesmos. São descritas as fontes que dão origem ao entulho como também se analisa a sua composição, além de apresentar um modelo matemático desenvolvido pela equipe de pesquisadores da Escola Politécnica de Hong Kong para estimar o volume de entulhos gerados por novas, construções.

No Capítulo II, são abordadas as formas de reaproveitamento e de reciclagem, os principais equipamentos empregados, os produtos obtidos e os problemas ambientais decorrentes da instalação de uma usina de reciclagem. Analisa-se também a qualidade dos agregados obtidos quanto à sua forma, textura, granulometria, bem como as principais diferenças entre eles e os agregados naturais, além de analisar o efeito causado pelas impurezas nas propriedades dos concretos e argamassas. Finalmente, são abordados alguns aspectos econômicos do processo de reciclagem e sua implicação nos preços dos produtos obtidos, ainda que esta avaliação seja muito particular a cada caso e a intenção seja a de propor uma metodologia e não estabelecer valores absolutos.

No Capítulo III, são analisadas detalhadamente varias propriedades dos concretos, argamassas e artefatos de cimento, produzidos com os agregados oriundos da reciclagem do entulho de construção civil.

No Capítulo IV foi desenvolvido um experimento para avaliar o desempenho de argamassas produzidas com agregados obtidos pela reciclagem de entulho por meio de uma mini-central que simultaneamente já produz a argamassa. Ainda neste capítulo, relata-se o desenvolvimento da metodologia de ensaio, são mencionados quais os critérios adotados para dosagem das argamassas ensaiadas, os diversos passos adotados até a moldagem dos corpos-de-prova e os ensaios escolhidos para a realização do experimento, para isso foram analisados 2 (dois) tragos um com maior consumo de cimento e o outro mais pobre. Neste capítulo, a discussão dos resultados é feita na ordem de apresentação dos mesmos.

No capítulo V são apresentadas as conclusões sobre os resultados obtidos no experimento e sobre as informações encontradas na literatura; as formas pelas quais está sendo transferido o conhecimento ao meio técnico; as sugestões para continuidade e desenvolvimento da pesquisa indicando os resultados importantes ainda não determinados. Para concluir o capítulo, são indicadas algumas possibilidades práticas, além das já existentes, para desenvolvimento e criação de um mercado consumidor de agregados reciclados, no País, provenientes do entulho de construção civil.

Concluída a apresentação do trabalho, a seguir, no capítulo I serão analisadas pesquisas como a elaborada pela Escola Politécnica de Hong Kong e o trabalho realizado por Tarcisio de Paula Pinto em 1989 no município de São Carlos.

Capítulo I ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

1-1. Terminologia

De acordo com a pesquisa realizada pelo Departamento de Construções e Bens Imóveis da Escola Politécnica de Hong Kong, em convênio com o Departamento de Engenharia Civil e Estruturas da Associação dos Construtores de Hong Kong, os materiais ou sobras de materiais de construção são definidos como: **subprodutos gerados e removidos de construções, reformas e locais de demolição ou canteiros de edificações e de obras de arte de engenharia civil.** HONG KONG POLYTECHNIC[1993]

Nesta dissertação, o termo **entulho de construção civil**, será utilizado para designar sobras e rejeitos constituídos por todo material mineral oriundo do desperdício inerente ao processo construtivo adotado na obra nova ou de reformas e demolições.

Uma vez que no Brasil o entulho é constituído predominantemente por alvenarias argamassas, quando for classificado pelo critério da especificação proposta pelo Comitê Técnico TC121-DRG da RILEM será enquadrado como material pertencente à classe Tipo I (vide Tabela da Introdução).

A distinção entre entulho composto essencialmente por alvenaria ou por concreto necessária, uma vez que as propriedades das argamassas e concretos confeccionadas com estes agregados são muito diferentes devendo portanto ser tratadas separadamente.

Mundialmente a terminologia mais completa sobre reciclagem de entulho de construção civil, está indicada na norma Japonesa preparada pela sociedade de Construtores Prediais do Japão B.C.S.J [1977]. Os principais termos estão relacionados a seguir:

Entulho de concreto:

Entulho proveniente de demolição de estruturas de concreto assim como de concreto fresco e endurecido e rejeitado, proveniente de centrais dosadoras ou até mesmo produzido na própria obra.

Seria interessante se na definição constasse qual a dimensão máxima característica deste material, esta informação poderia ser utilizada como critério para aceitação ou rejeição de resíduos nos processos de reciclagem, uma vez que fragmentos muito grandes sempre causam problemas operacionais, aos equipamentos das usinas.

Concreto convencional:

Concreto produzido com areia natural como agregado fino, e pedregulhos naturais ou pedra britada como agregado graúdo.

Sem nenhum conceito novo, esta é uma definição universalmente consagrada.

Concreto original:

Concreto proveniente de estruturas de concreto armado, protendidas ou simples o qual poderá ser reciclado na produção de agregados (ou para outros propósitos). Ocasionalmente o concreto original é denominado por concreto antigo, ou concreto de demolição.

Considera-se que não esteja claro se um concreto produzido com agregado reciclado possa ser considerado como concreto original, se eventualmente for utilizado numa próxima reciclagem.

Concreto de agregado reciclado:

Concreto produzido utilizando-se agregados obtidos por reciclagem de concretos originais e antigos, ou por combinação destes com agregados convencionais. O concreto de agregado reciclado algumas vezes é denominado como concreto novo.

Entende-se que o termo novo em português não seja o mais adequado, aliás em um de seus trabalhos De PAUW [1980] utiliza em francês o termo *Neuf* que tem o significado de renovado ou reformulado; considera-se mais adequada esta denominação para um concreto recém produzido com materiais já utilizados uma vez e reciclados para nova utilização.

Agregados de concreto reciclado:

Agregados produzidos pela britagem de concreto original; esses agregados poderão ser miúdos ou graúdos.

É evidente que devem ser classificados em função de sua dimensão máxima característica.

Argamassa original:

Mistura endurecida de cimento, água e agregados miúdos convencionais com dimensão característica máxima inferior a 4 mm, existente no concreto original.

Alguma argamassa original estará sempre ligada às partículas do concreto original. Considera-se que pelo fato da argamassa original estar ligada às partículas do concreto original existente no agregado reciclado, sempre existira no agregado graúdo e miúdo argamassa original aderida.

Agregados originais:

São denominados agregados originais os agregados com os quais foram produzidos o concreto original; poderão ser agregados naturais, (seixos rolado, quando se tratar de agregados graúdos, ou areia de rio quando se tratar de agregados miúdos) ou agregados manufaturados (pedra britada quando se tratar de agregados graúdos, ou pó de pedra quando se tratar de agregados miúdos). Equivocadamente é possível que algumas vezes os agregados utilizados para preparação do concreto origina sejam denominados agregados virgens ou agregados convencionais.

O termo virgem parece inadequado, todavia, seu uso é consagrado internacionalmente. Talvez em português fosse mais adequado só se referir a estes agregados como agregados naturais.

1-2. Origem e classificação do entulho de construção civil

No trabalho realizado por ORMSBY [1978], ele apresenta uma classificação internacional utilizada para resíduos de acordo com sua origem, classificação proposta pelo Comitê de "Pesquisas em Materiais Residuais e Subprodutos para Construção de Rodovias" criado pelo OECD - Organization for Economic Cooperation, com sede em Paris.

Segundo esta proposta, os resíduos são classificados em cinco categorias, como segue:

- I. Resíduos e subprodutos de mineração
- II. Resíduos e subprodutos metalúrgicos
- III. Resíduos e subprodutos metalúrgicos
- IV. Resíduos municipal
- V. Resíduos agrícolas

Apesar de sua abrangência, esta classificação não distingue os entulhos ou resíduos de concreto daqueles de, alvenaria e simplesmente sugere que resíduos de demolição de concreto asfáltico, concreto simples ou armado sejam reciclados para utilização em pavimentos e agregados de concreto.

Conforme a definição apresentada no item **Terminologia** o entulho de construção civil poderá ter diversas origens, como indicado a seguir:

- Catástrofes naturais ou artificiais, por exemplo, terremotos, bombardeios, incêndios ou desabamentos.
- Demolição de estruturas ou pavimentos rodoviários de concreto ou de obras que atingiram a vida útil para as quais foram projetadas tendo se tornado obsoletas.
- Deficiências inerentes aos processos e sistemas construtivos empregados na atualidade.

Estas sobras de materiais podem ser classificadas de acordo com a fonte ou tipo, de serviço que as originou. Segundo critérios estabelecidos em uma recente pesquisa elaborada pelo Departamento de Proteção do Meio Ambiente de Hong Kong (Environmental Protection Department 1991) o entulho total existente na cidade era proveniente, basicamente de cinco fontes, conforme ilustrado na Figura I-1.

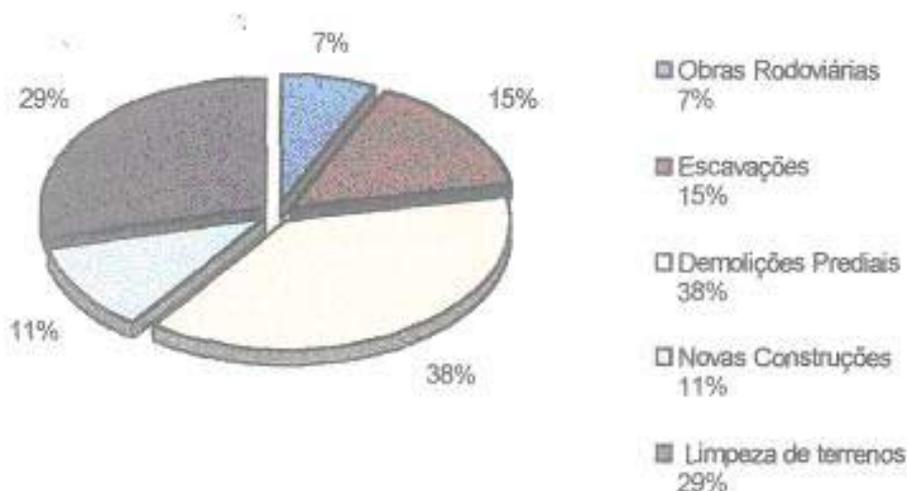


Figura I-1 Principais fontes geradoras de entulho [HONG KONG POLYTECHNIC – 1993]

No Brasil até hoje não foi elaborado um levantamento que identifique e quantifique a contribuição das principais fontes geradoras de entulho; todavia, acredita-se que a porcentagem de 38% para demolições, 29% para limpeza de terrenos, 11 % para novas construções, 15% para escavações e 7% para obras rodoviárias que compõe o Montante de entulho gerado naquele país, não se repetirá no caso do Brasil, pois ainda é pequeno o número de demolições.

O fato de apenas 11% do entulho ser proveniente de construções novas, é um dado interessante que poderia ser interpretado como indicação significativa de que Hong Kong utiliza processos construtivos de elevada eficiência.

1-3.Composição do entulho de construção civil

A composição do entulho é função da fonte que o originou e também do momento em que foi colhida a amostra. No estudo elaborado pelo Departamento de Proteção do Meio Ambiente de Hong Kong, foram listados 18 componentes encontrados no entulho de construção e relacionados na Tabela I-1 que dá idéia da variação do teor dos componentes em função da fonte geradora.

Tabela I-1 Componentes do entulho x Fontes geradoras [HONG KONG POLYTECHNIC-1993]

Componentes presentes	Fontes que dão origem ao entulho de construção				
	Trabalhos Rodoviários (%)	Escavações (%)	Sobras de Demolição (%)	Obras Diversas (%)	Sobras de Limpezas (%)
Asfalto	23.47	0.00	1.61	0.00	0.13
Concreto Simples	46.38	3.16	20.00	8.03	9.26
Concreto Armado	1.61	2.96	33.10	8.31	8.25
Poeira Solo e Lama	16.75	48.91	11.91	16.09	30.54
Pedra britada	7.07	31.10	6.82	7.76	9.73
Cascalho	-	1.43	4.60	15.25	14.13
Madeira	0.10	1.07	7.14	18.22	10.53
Bambu	0.00	0.03	0.30	0.05	0.29
Blocos de Concreto	0.00	0.00	1.16	1.12	0.90
Tijolinhos maciços	0.00	0.31	6.33	11.94	5.00
Vidros	0.00	0.00	0.20	0.35	0.56
Papel e Matéria Orgânica	0.00	0.29	1.30	2.62	3.05
Tubos Plásticos	0.00	0.00	0.60	0.35	1.13
Areia	4.62	9.58	1.43	3.24	1.69
Árvores	0.00	0.70	0.00	0.01	0.12
Conduites	0.00	0.00	0.04	0.01	0.03
Retalho de Tecidos	0.00	0.00	0.07	0.13	0.23
Metais	0.00	0.47	3.40	6.08	4.36

Com o intuito de constatar quais as diferenças mais significativas na composição do entulho proveniente de obras nacionais e de obras executadas no exterior, elaborou-se a Tabela I-2, que apresenta os componentes do entulho proveniente das obras prediais de Hong Kong, de São Carlos, ruínas de pós-guerra de cidades alemãs e de usinas de reciclagem da Holanda. As fontes utilizadas para elaboração da tabela foram HOFFMEISTER [1948], CUR/VB [1984], PINTO [1989], HONG KONG -[1993].

É interessante observar as diferenças na composição do entulho em função do seu local de origem, fato que pode ser atribuído, aos processos construtivos utilizados em cada caso, pois a grande quantidade de resíduos de argamassa existente nas, obras do município de, São Carlos não têm correspondente nas obras executadas em outras cidades; já nos itens relativos à produção de concreto e consumo de madeira o nível de resíduos apresentou-se muito maior em Hong Kong do que nas demais cidades constantes na Tabela I-2- acredita-se, que a explicação possa ser atribuída ao fato da madeira ter valor comercial, como no estudo realizado em Hong Kong, o objetivo era identificar as fontes e as causas geradoras do entulho, a sucata de madeira deve ter sido, considerada como resíduo, portanto não foi retirada do entulho e comercializada, já no caso da Holanda e do Brasil, possivelmente a madeira existente tenha sido, previamente comercializada, no caso das ruínas de pós-guerra na, Alemanha é difícil avaliar se continham madeira, pois o entulho provinha de edificações prontas, ou se a madeira eventualmente, existente foi comercializada previamente e não foi considerada como material a ser reciclado.

E interessante também observar a diferença existente no nível de desperdício entre materiais cerâmicos utilizados nas obras construídas nas duas cidades, 11% no Brasil contra 0% em Hong Kong, possivelmente por não utilizarem estes materiais em suas obras.

Figura I-2 está indicado graficamente a composição média do entulho coletado no município de São Carlos de acordo com levantamento realizado em 1985 PINTO [1989].

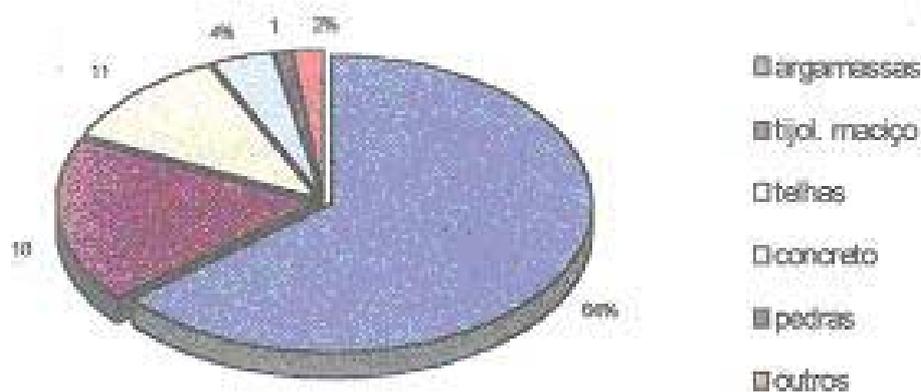


Figura I-2 Composição média do entulho de São Carlos em 1985 PINTO [1989].

Vale a pena lembrar que na época em que foi realizado o levantamento de São Carlos, os processos construtivos diferiam dos atuais; conseqüentemente, a composição do entulho hoje não será a mesma, fato facilmente explicável, uma vez que na década anterior era muito mais frequente a utilização do tijolo maciço, de grossos revestimentos para corrigir defeitos de execução; além do mais não era usual a aplicação de gesso diretamente sobre alvenaria, portanto uma amostra representativa do entulho atualmente existente em São Carlos ou em outra cidade deve ter uma composição distinta daquela ilustrada na Figura I-2.

1-4. Volume de entulho gerado em obra novas

Para avaliar uma série de dados sobre o volume do entulho gerado em novas obras, a equipe de pesquisadores da Politécnica de Hong Kong juntamente com a Associação de Construtores de Hong Kong elaborou uma pesquisa iniciada em 11 de junho de 1992 e concluída a contento 9 (nove) meses após, em fevereiro de 1993. Neste trabalho, o entulho de construção foi classificado em 4 (quatro) categorias de acordo com os materiais que lhe deram origem, a equipe trabalhou com índices de desperdício compatíveis com os processos construtivos utilizados. A seguir está indicada a classificação do entulho e as hipóteses adotadas na realização do trabalho.

Granular inerte oriundo das atividades de concretagem: segundo este levantamento, o nível de desperdício para estas atividades foi estimado em 11% (onze por cento).

Granular inerte oriundo de materiais cerâmicos para vedação: aqui foi admitida certa similaridade às atividades do item anterior, no tocante à geração de entulho, e o nível de desperdício estimado por volta de 15% (quinze por cento).

Restos de madeira, oriundos da produção de formas e atividades temporárias: no modelo apresentado foi admitida a reutilização de 9 (nove) vezes de cada conjunto de formas, sendo sucateado a seguir.

Entulho acondicionado, são sobras de materiais devidamente acondicionados, como cimento, cal, gesso e outros aglomerantes ou agregados embalados em sacos plásticos ou de papel. Também blocos cerâmicos palitados se enquadram nesta categoria.

Esta pesquisa gerou um modelo desenvolvido e testado para estimar a quantidade total de resíduos gerados em uma construção. Entenda-se por quantidade total de entulho o montante de materiais provenientes das quatro categorias citadas anteriormente.

Para comprovar a eficiência do modelo, a equipe resolveu aplicá-lo a uma das obras pesquisadas para estimar o volume total de entulho a ser gerado, e compará-lo com o volume real.

Para isso foi idealizada a Tabela I-4, na qual as quantidades totais de serviços estão relacionadas e ao lado estão indicadas as quantidades realmente executadas em certa etapa da obra (medição).

Paralelamente, foi determinada a quantidade de entulho realmente retirada da obra, com caminhões basculantes de 9 m³, conforme indicado na Tabela I-3 e então, a equipe concluiu que o valor determinado pelo modelo diferia do valor real em 13,1%, $\left(1 - \frac{1301}{1496} = 13,1\%\right)$.

Esse fato pode ser explicado pois existia ainda uma quantidade relevante de entulho a ser retirada, em consequência de serviços inacabados; além do mais, é perfeitamente aceitável uma diferença de 15% (quinze por cento) entre o valor estimado e o valor apurado na prática.

Tabela I-3 Volume total de entulho retirado da obra.

Época	Nº de viagens	Volume total retirado (m ³)
JUL. - 91 a AGO 92	150,5	1301

Tabela I-4 Modelo para estimativa do volume de entulho gerado em obra nova [Hong Kong -1992]

Atividades	QTD ORÇ. TOTAIS	Percentage m Executada	Espessura (mm)	Materiais necessários (m ³)		Desperdício (%)	Entulho total produzido (m ³)		
				granular	madeira		granular	condicionado	madeira
Subestrutura:									
concreto	1.511	100%		1.511		11%	166		
formas	2.314	100%	25		6				6
Superestrutura:									
concreto	7.186	87%		6.252		11%	688		
formas	115.351	85%	25		272				272
alvenarias	6.841	77%	210	1.106		11%	122	55	
portas e batentes	7.731	77%							
acabamentos internos:									
chapisco	31.572	84%				3%			
pisos cimentados	15.248	13%	25	50		15%	7	2	
pisos cerâmicos	2.969	19%	10	6		15%	1	0	
emboço e reboco em paredes	13.068	76%	25	248		15%	37	12	
revestimento cerâmicos	14.451	66%	10	95		15%	14	5	
emboço e reboco em forros	8.676	73%	25	158		15%	24	8	
revestimentos externos:									
chapisco	15.961	84%				5%			
emboço e reboco em paredes	12.744	76%	25	242		15%	36	12	
revestimento cerâmicos	12.750	67%	10	77		15%	11	4	
emboço e reboco em forros	2.135	60%	25	41		15%	6	2	
colocação de telhas	2.135	60%	10	13		15%	2	1	
cimentado	1.943	0%	25	0		15%	0	0	
							1.115	102	279

Total geral do volume de entulho 1.496 m³

Posteriormente o modelo foi aplicado ao conjunto das obras pesquisadas pela equipe, e o resultado encontrado está apresentado na Tabela I-5, onde o valor médio determinado conduz aos coeficientes 31,6 m³/ MHK\$ (milhões de dólares HK de construção) e 0,10 m³ / m² de área construída.

Tabela I-5 Estimativa dos componentes do entulho para novas obras [Hong Kong -1992]

Dados do Empreendimento			Estimativa dos componentes do entulho m ³						
Tipo	Valor do contrato HK\$Mn	Área Construída (m ²)	Granular		Ensacados	Madeira	Total	Volume por USMn	Volume por m ²
			Conc.	Outros					
casa	168,87	55.817	3.838	602	231	596	5.267	31,19	0,09
casa	12,46	4.300	188	54	23	31	297	23,82	0,07
casa	9,64	3.162	198	72	31	45	346	35,89	0,11
c ₍₉₉₎	57,50	12.574	957	408	176	327	1.867	32,48	0,15
escr.	9,45	3.302	193	30	12	42	279	29,47	0,08
escr.	12,26	2.814	159	25	9	39	232	19,92	0,08
escr.	545,30	109.415	5.225	994	386	949	7.554	13,65	0,07
pred.	195,85	87.360	4.588	1.572	702	0	6.861	35,03	0,08
pred.	118,19	86.497	4.709	1.390	615	531	7.244	61,29	0,08
pred.	9,29	5.250	291	164	80	49	583	62,79	0,11
pred.	294,99	102.780	9.272	3.179	1.302	1.549	15.302	51,87	0,15
escol.	30,57	8.390	497	96	40	79	712	23,30	0,08
outra	19,87	2.870	178	71	32	84	365	18,35	0,13
	1.484,24	484.531	30.293	8.657	3.639	4.321	46.909	31,61	0,10

Objetivando avaliar a coerência dos resultados que serão fornecidos pela aplicação destes coeficientes, o grupo de pesquisadores utilizou-os para as condições locais obtendo os valores a seguir:

-Previsão do entulho a ser gerado na cidade de Hong Kong:

a) com utilização do coeficiente $0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2$ de área construída.

$$0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot 6.350.000,00 \text{ m}^2 = 635.000,00 \text{ m}^3$$

Coeficiente determinado pelo modelo

Previsão anual de área a construir no período 92/94

Entulho anual a ser gerado no período 92/94

b) com utilização do coeficiente 31,61 m³ / MHK\$

$$31,61 \text{ m}^3 / \text{MHK\$} \cdot \text{MHK\$ } 19.000,00 = 600.590,00 \text{ m}^3$$

Coeficiente determinado pelo modelo	Previsão anual dos custos de obra [ano base 1990]	Entulho anual a ser gerado no período 92/94
-------------------------------------	---	---

Diferença constatada < 5 %

Resultado que aponta para uma diferença considerada aceitável.

Aplicando-se este modelo para cidade de São Paulo, encontra-se os valores conforme ilustrado no exemplo adiante:

-Previsão do entulho a ser gerado em São Paulo:

a) com utilização do coeficiente 0,10 m³/m² de área construída.

$$0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot 3.504.000,00^1 \text{ m}^2 = 305.400,00 \text{ m}^3$$

Coeficiente determinado pelo modelo	Área a construir no período fev./mar. 94/95	Entulho que deveria ter sido gerado no período fev./mar. 94/95
-------------------------------------	---	--

b) com utilização do coeficiente 31,61 m³/MHK\$

admitindo-se que o custo médio das edificações em São Paulo tenha sido de US\$500,00/m², chega-se a:

$$3.504.000 \text{ m}^2 \cdot 500,00 / \text{m}^2 \cdot \text{HK\$ } 6,00/\text{US\$} = \text{HK\$ } 10.512.000,00$$

área construída no período 94/95	Custo unitário da construção.	Cotação da moeda 1990 ²	Estimativa do custo das obras a valores de 1990
----------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	---

$$31,61 \text{ m}^3 / \text{MHK\$} \cdot \text{MHK\$ } 10.512,00 = 332.284 \text{ m}^3$$

Coeficiente determinado pelo modelo	Valor anual do custo das obra no período 92/94	Entulho anual a ser gerado no período 92/94
-------------------------------------	--	---

Diferença constatada ~9 %

Diferença maior, possivelmente em consequência de uma eventual variação na taxa de câmbio.

Comparando-se com os dados citados por PINTO-[1992] 2000 t/dia, equivalente a 1000 m³ diários ou 365000 m³ anuais, chega-se à conclusão de que é razoável tentar prever o volume de entulho a ser gerado na cidade de São Paulo com a utilização do modelo desenvolvido em Hong Kong.

² Os valores do câmbio são aproximados e foram obtidos verbalmente na Câmara Britânica do Comércio

Na Tabela I-6 estão indicados resumidamente os valores encontrados.

Tabela I-6 Comparação entre modelos de previsão de volume de entulho para São Paulo.

Coef.	Volume de entulho anual previsto de acordo com modelo elaborado em Hong Kong (m ³).	Volume de entulho estimado PINTO [1992] (m ³)	Diferença em (%)
0.10 m ³ /m ²	305.400	365 000	(+) 19%
0.36 m ³ /MHKS	322 .284	365 000	(+) 13%

A equipe da Politécnica de Hong Kong, também procurou estabelecer uma correlação entre o volume de entulho gerado e o montante de todas as obras aprovados durante um ano e concluiu que a reta cuja equação está indicada na Figura I-3, é a que melhor representava esta correlação.

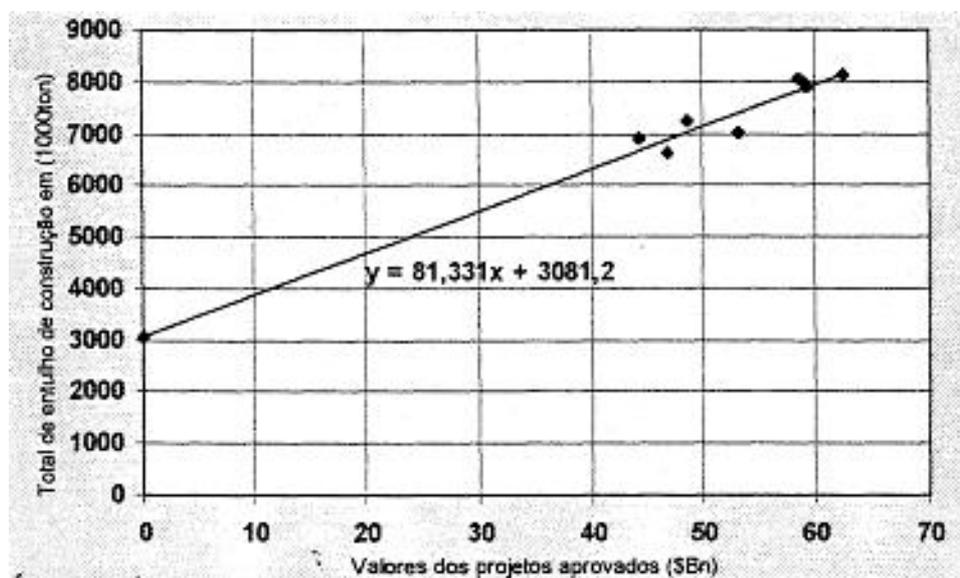


Figura I-3 Volume de entulho gerado X valor total dos projetos aprovados

Deve ser observado, que a utilização do gráfico da Figura I-3 para valores fora do intervalo de 40 a 60 bilhões de HK\$ pode conduzir a conclusões absurdas uma vez que se trata de extrapolação; como exemplo se poderia concluir que haveria uma geração espontânea 3 bilhões de toneladas de entulho sem qualquer obra a ser executada.

Esta correlação não pode ser verificada para São Paulo, uma vez que os custos totais das obras contratadas não estão disponíveis.

Após terem sido apresentadas neste capítulo a terminologia mundialmente empregada, a composição do entulho encontrado em diversas cidades e um modelo matemático par estimar o volume de entulho gerado em função da área construída, ou do valor da obra, no capítulo seguinte serão abordados os aspectos técnicos relativos ao reaproveitamento e a reciclagem do entulho de construção civil.

Capítulo II REAPROVEITAMENTO E RECICLAGEM DO ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL

2-1 Reaproveitamento do entulho de construção civil

Entenda-se por reaproveitamento do entulho, a forma de utilizá-lo sem que haja necessidades de submetê-lo a qualquer processo de beneficiamento, tal como britagem ou moagem.

Mundialmente, a utilização do entulho de construção civil, como material para aterro, largamente difundida uma vez que seus componentes minerais não são poluentes e quimicamente são praticamente inertes. Deste modo, sem nenhum tratamento ou seleção prévia, o entulho é simplesmente depositado em bota-foras ou aterros.

Devido à exiguidade de áreas capazes de receber diariamente o grande volume de entulho, gerado nas grandes metrópoles (em torno de 1.700 m³/ dia em Hong Kong e 1.100 / m³/ dia em São Paulo) proveniente só das obras prediais, poderiam ser criadas usinas de reciclagem que, estrategicamente localizadas, apresentar-se-iam como alternativa viável para disposição do material, para caminhoneiros e empresas coletoras de entulho.

Quando os resíduos de obra são depositados indiscriminadamente em córregos ou vias públicas, como acontece em São Paulo e municípios vizinhos, acabarão por tornar-se urna fonte geradora de problemas, enchentes e constantes prejuízos para autoridades e população.

Aparentemente, os agregados obtidos desta forma não apresentam grande desvantagem em relação aos agregados convencionais quando submetidos a uma análise técnica criteriosa. Aliás, apresentam até algumas vantagens quando comparados sob o ponto de vista econômico [PINTO e LIMA - 1993].

2-2 Reciclagem do entulho de construção civil

Na sua forma mais ampla, o significado do termo reciclagem seria o de uma atualização cultural, pedagógica, técnica ou funcional para melhorar o desempenho da pessoa ou do material reciclado.

Quando o conceito for estendido ao entulho de obra, seu significado em última análise deve ser o de um tratamento, constituído por uma operação de britagem ou de moagem, que permita obter um material cuja granulometria esteja dentro de limites especificados e assim possibilitar seu uso como agregado em argamassa, concreto ou atividade correlata.

2-2-1 Instalações e equipamentos empregados para reciclagem do entulho de construção civil

Um grande número de diferentes equipamentos, tais como, britadores de mandíbula, de impacto, moinhos de martelo e cones de britagem foram estudados numa pesquisa holandesa. [CUR - 1986] cujo objetivo foi determinar qual deles apresentou melhor desempenho na britagem de concreto antigo. Citam-se neste texto os resultados apresentados nesse trabalho acrescidos de informações sobre equipamentos fabricados no Brasil para reaproveitamento do entulho, no local de origem. A Tabela II-1 sintetiza as informações a respeito desses equipamentos, indicando os tipos de agregados que são capazes de produzir, suas principais características e em que atividades são utilizados com maior frequência.

Tabela II-1 Equipamentos de britagem, utilizados para reciclagem de entulhos

Equipamento	Produtos fornecidos e princípio de funcionamento.	Caraterísticas do equipamento ou dos materiais fornecidos
Britador de Mandíbula, [OFFERMANN - 1986]	Agregados graúdos: o material chega a câmara de britagem onde é literalmente mastigado por mandíbulas.	Agregados apresentam a distribuição granulométrica ideal para produção de concretos estruturais
Cone de Britagem [FAÇO - 1994]	Agregados graúdos: o material chega à câmara de britagem onde é esmagado contra as paredes de um cone; o material utilizado na alimentação deve ter sido previamente britado.	Equipamento ideal para ser utilizado como britador secundário, para processar material com $D_{\max} \leq 200$ mm
Moinhos de Martelos Rotativos ou Britador de Cilindros [OFFERMANN - 1986]	Agregados miúdos: o material é conduzido até a câmara de britagem por uma correia transportadora onde será literalmente esmagado.	São raramente utilizados uma vez que só produzem material de granulometria fina.
Britadores de Impacto [De PAUW - 1980] [OFFERMANN - 1986]	Agregados graúdos: o material após atingir a câmara de britagem, sofre sucessivos impactos por martelos que giram permanentemente.	São utilizados para obtenção de agregados com granulometria ideal para aplicação em obras rodoviárias Estes equipamentos são menos sensíveis aos materiais que não podem ser britados como as barras de aço da armação.
Moinhos de Rolos CATÁLOGOS ¹	Agregados miúdos; o material é depositado manualmente na câmara de britagem onde por esmagamento é transformado em areia com a granulometria desejada.	Os agregados miúdos produzidos neste equipamento têm granulometria controlada em função do tempo de moagem. O processo de moagem e produção de argamassa é simultâneo.

Os equipamentos mencionados na Tabela II-1, estão esquematicamente representados na Figura II-1, Figura II-2, Figura II-3, Figura II-4, Figura II-5 respectivamente.

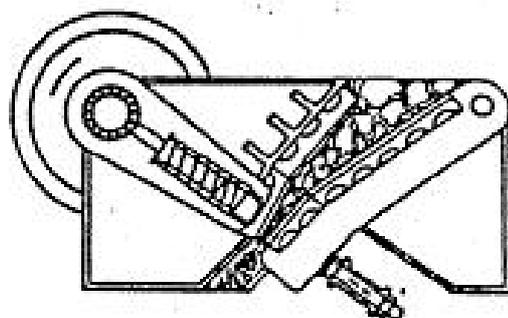


Figura II-1 Representação esquemática do britador de mandíbula.

¹ Catálogo do fabricante do moinho-argamasseira.

Câmara para finos

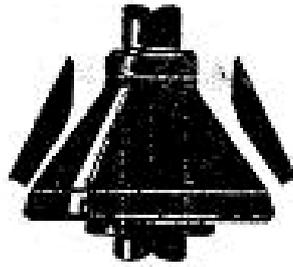


Figura II-2 Representação esquemática do cone de britagem.

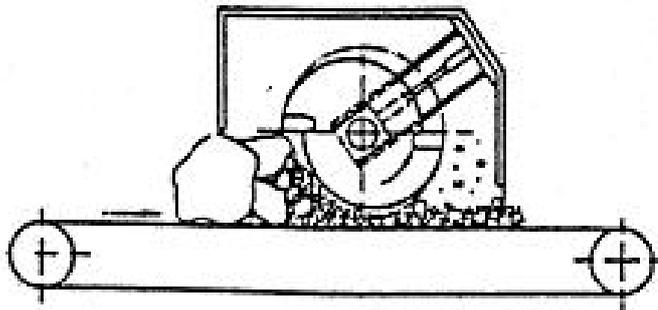


Figura II-3 Representação esquemática do britador de cilindros.

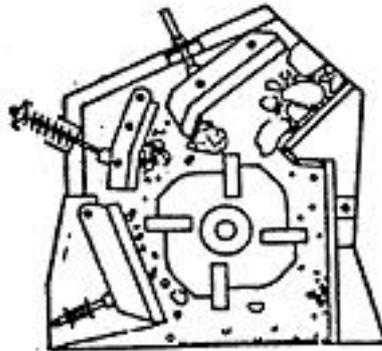


Figura II-4 Representação esquemática do britador de impacto.

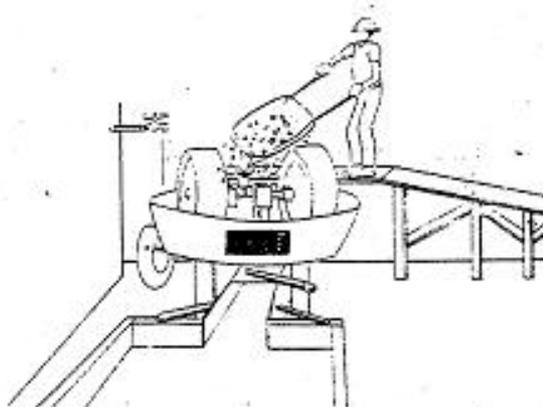


Figura II-5 Detalhe do moinho de rolos ou de galga.

Quando for necessário conseguir outras propriedades, tais como, forma dos grãos, reduzida absorção de água, além de uma granulometria adequada, para os agregados provenientes de concreto reciclados, os britadores de mandíbulas apresentam melhor desempenho do que os britadores de impacto, porque os britadores de mandíbula são ajustados para produzir agregados com tamanhos 1,2 a 1,5 vezes a dimensão máxima característica do agregado original. Desta forma será moída apenas uma pequena parcela as partículas do agregado do concreto antigo e conseqüentemente existirá pouco material fino nos agregados. Além do mais, os britadores de impacto triturarão a argamassa velha e partículas do agregado original indistintamente, produzindo um agregado graúdo de qualidade inferior devido à presença de grande quantidade de finos. Outra desvantagem dos britadores de impacto é o elevado desgaste, e custos de manutenção relativamente mais elevados [HANSEN – 1992].

Todos os britadores pesquisados produzem aproximadamente a mesma porcentagem de partículas cúbicas no agregado reciclado e parece que as propriedades dos agregados reciclados sempre melhoram com a britagem secundária, [SCHULZ -1988], [KASHINO e TAKAHASHI – 1988], [KAGA et al. - 1988], [KAKIZAKI et al.1988].

Uma pesquisa similar para determinação da eficiência dos britadores, foi desenvolvida pelo B.C.S.J. - [1978]. Na Tabela II-2 é mostrado que excetuando-se a curva granulométrica, as demais propriedades físicas dos agregados, obtidos por intermédio da britagem do entulho, tais como massa específica, absorção de água, resistência a sulfatos e perda por Abrasão Los Angeles, não são significativamente afetadas pelo tipo de britador utilizado ou pelas diferentes instalações de britagem.

A seguir relacionam-se algumas das informações encontradas na literatura a respeito de britadores e equipamentos para reciclagem de entulhos, empregados na atualidade [HANSEN – 1992]:

1. Se os resíduos de uma demolição forem reciclados, o processo a ser utilizado deverá adequar o tamanho individual dos escombros a serem reciclados ao tamanho máximo, suportado pelo britador primário da instalação de reciclagem. Em instalações estacionárias a dimensão máxima aceitável para os fragmentos a serem britados é de 1200 mm. Em instalações móveis a dimensão máxima aceitável para os fragmentos a serem britados é de 400 a 700 mm.
2. Parece que os britadores de mandíbulas são mais adequados para utilização em processos de reciclagem de resíduos de concreto simples ou pouco armados. Já entre os diversos equipamentos existentes os britadores de impacto parecem ser os mais adequados, quando a finalidade for a reciclagem de concretos densamente armados.

Tabela II-2 Propriedades físicas dos agregados reciclados, produzidos por diversos britadores [B.C.S.J. -1978]

Tipo de britador	Tipo de concreto	Características granulométricas		Massa específica condições SSS * kg/m ³		Absorção de água (%)		Resistência a sulfatos perda percentual em massa		Abrasão Los Angeles. perda percentual em massa agregado graúdo
		D _{máx.} , mm	porcentagem passante # 4,8 mm	agregado miúdo	agregado graúdo	agregado miúdo	agregado graúdo	agregado miúdo	agregado graúdo	
Britador de mandíbula	a/c =0,45	25	19,2	2100	2350	11,0	5,8	15,5	58,9	30,5
	a/c =0,55	25	18,2	2100	2350	11,3	6,2	20,8	48,4	31,0
	a/c =0,68	25	20,8	2100	2350	11,1	6,4	18,8	60,8	31,2
Britador horizontal	Não mencionado	30	33,1	2040	2260	10,5	5,3	12,3	40,9	não mencionado
Moinho contínuo	Não mencionado	25	41,7	2130	2340	8,7	4,6	9,9	29,9	não mencionado

* SSS - Superfície saturada seca

A utilização do entulho reciclado para produção de agregado miúdo a ser utilizado na produção de argamassas de revestimento, tem sido bastante difundida em nosso País, sua utilização teve início em meados da década de 80, com o emprego de um moinho de rolos instalado no canteiro da obra. Obtém-se um agregado miúdo com teor de finos que varia de acordo com as curvas granulométricas apresentadas na Tabela II-3, dependendo exclusivamente do tempo de moagem, ao qual o entulho é submetido.

HAMASSAKI et. al. [1996] realizaram um trabalho na área de reciclagem de entulho para aplicação em revestimentos e obtiveram agregados miúdos, posteriormente utilizados na produção de argamassa. As curvas granulométricas dos agregados obtidos estão apresentadas na Tabela II-3.

Tabela II-3 Curvas granulométricas de agregados miúdos obtidos por reciclagem de componentes de entulho de obra

Material Peneiras	Blocos cerâmicos ²	Blocos cerâmicos ³	Argamassa moída ³	Blocos de concreto ³	Blocos de concreto ²
4.8	-	3	1	4	
2.4	24	8	12	8	22
1.2	42	20	29	18	39
0.6	62	40	44	41	61
0.3	77	60	57	63	80
0.15	90	82	73	80	92
fundo	100	100	100	100	100
M.F.	2.95	2.13	2.16	2.14	2.94
D _{mix} (mm)	2.40	4.80	4.80	4.80	2.40

2-2-2 Principais usos para os produtos obtidos através da reciclagem do entulho de construção

Como se mostrou até o presente momento, as principais utilizações para o entulho de construção civil são :

1. Aplicação sem nenhum tipo de beneficiamento em aterros ou bota-foras (disposição, ou reaproveitamento de entulho)
2. Aplicação de um processo de reciclagem para obtenção de agregados graúdos ou miúdos a serem utilizados na estabilização de sub-bases em estradas vicinais, produção de concretos aplicados em obras estruturais, a pavimentos rodoviários, ou ainda na preparação de argamassas e na preparação de elementos pré-moldados.

A seguir são relacionadas algumas aplicações práticas (casos reais) nas quais foi utilizado entulho mineral reciclado como matéria prima para produção de agregados.

² HAMASSAKI; SBRIGHI & FLORINDO -[1996]

2-2-2-1 Como agregado miúdo

Em argamassas

Em nosso País, principalmente nas regiões Sul e Sudeste vem sendo difundida a utilização de um moinho de rolos instalado na obra que além de moer o entulho, simultaneamente produz a argamassa de assentamento e revestimento, de acordo com o traço indicado pelo fabricante e normalmente utilizado nas obras, na Tabela II-4 são apresentados estes traços.

Tabela II-4 Argamassas com agregado miúdo reciclado (casos reais).⁴

Traço Utilização	Traço em volume			
	Cimento	Agregado reciclado	Areia	Aglomerante : Agregado
Revestimento interno	1	3	8	1:11
Assentamento	1	4	7	1:11
Revestimento externo	1	1,5	6	1:7 ³
Enchimento de pisos	1	5	6	1:11

Quanto a quantidade de água utilizada, constatou-se que não era adotado qualquer controle mais rigoroso, porém reproduziu-se em laboratório argamassas com consistência similar às utilizadas na prática e concluiu-se que a quantidade de água utilizada é tal que possibilita a argamassa alcançar a consistência de 310 ± 10 mm; embora, este valor seja superior aos das argamassas convencionais, indicadas na literatura consultada [SELMO -1989], e [MARTINELLI - 1989].

Acredita-se que esta argamassa mais fluída devido a maior absorção de água apresentada pelos agregados miúdos reciclados do que a dos agregados miúdos naturais.

É interessante observar que, para as argamassas de assentamento, é utilizado maior quantidade de material reciclado do que nas argamassas de revestimento. A justificativa poderia ser atribuída ao fato de que maior quantidade de entulho demandará maior quantidade de água, isto poderia provocar maior retração causando trincas generalizadas do revestimento.

Em concreto asfáltico

De acordo com um estudo realizado por ZAGURSKIJ e ZHADANOVSKIJ [1985] é mencionada a utilização de finos provenientes da britagem de concreto como filler, em concreto asfáltico, na URSS.

⁴ Os dados constantes da Tabela II-4 foram fornecidos pelo fabricante do equipamento e confirmados em campo.

2-2-2-2 Como agregado graúdo

Na produção de blocos de vedação

No município de São Paulo, a EMURB dispõe de um projeto para produção de 20 mil blocos dias acoplado à usina de Itatinga; os dados encontrados não permitem concluir qual o traço utilizado e se a meta estabelecida de 20 mil blocos dias já teria sido alcançada.

A cidade de EL ASNAM, na Argélia foi totalmente reconstruída com blocos produzidos com material reciclado proveniente das ruínas decorrentes de violentos abalos sísmicos ocorridos em 1954 e 1980. Segundo De PAUW [1982] que foi responsável por este projeto, a composição média do material reciclado utilizado na produção destes blocos foi a seguinte:

resíduos de blocos cerâmicos	30%
resíduos de blocos de concreto	50%
resíduos de concreto	10%
resíduos diversos (argamassas e outros)	10%

com este material foram elaborados 6 (seis) dosagens diferentes antes da escolha do traço definitivo para produção dos blocos.

As dosagens com entulho e a mistura de referência com agregados convencionais são apresentadas na Tabela II-5. Aos 28 (vinte e oito) dias os blocos foram capeados com argamassa e rompidos no “Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment” em Alger sob a supervisão dos engenheiros do I'NEBRA e do C.S.T.C. [De PAUW - 1982].

Tabela II-5 Estudo de dosagem para determinação do traço [De PAUW - 1982]

Série	Dosagem em Massa*				
	Cimento	Areia natural	Agregados graúdos naturais	Material reciclado	
traços utilizados	P15 - 302	0 -2	3-8	0-25	3-12
Referência	50	100	300	-	-
1	50	150	-	250	-
2	50	100	-	200	-
3	50	200	-	200	-
4	50	150	-	-	300
5	50	150	-	-	250
6	50	200	-	-	200

Traços utilizados para produção de 24 blocos medindo 390 mm x 190 mm x 190 mm

Segundo o autor a quantidade de água foi determinada de modo a se obter a trabalhabilidade considerada adequada pela mão-de-obra local.

Os valores médios de resistência à compressão, estão indicados na Tabela II-6

Tabela II-6 Resistência à compressão média, em MPa; de blocos produzidos com entulho reciclado[De PAUW - 1982]

Referencia	serie 1	serie 2	serie 3	serie 4	serie 5	serie 6
3,7	2,2	3,3	2,9	4,1	7,0	2,1

Com o conhecimento da relação a/c, seria possível explicar porque a série 5 apresentou valores mais elevados, fora da média das demais séries, uma vez que os traços utilizados são similares.

O autor apresenta os resultados obtidos da resistência à compressão e não cita qual série teria sido escolhida para produção dos blocos, acredita-se, que tenha sido a que alcançou maior resistência, porém como não foi mencionada qual a consistência considerada ideal e nem fixada a relação água cimento, para as condições do estudo, o critério utilizado para comparação dos resultados, pode não ter sido o ideal, pelo menos economicamente.

Em usos rodoviários, estabilização de sub-bases, preparo de bases e concretos para pavimentos.

Os americanos apresentam vasta experiência neste tipo de aplicação comprovada pelos exemplos citados a seguir [RAY - 1984]:

Em 1964 empregaram material reciclado na execução de uma sub-base com 15 cm de espessura, na execução de uma nova rodovia, construída na cidade de Dallas no Texas; todavia, a primeira aplicação satisfatória de concreto produzido com material reciclado, ocorreu no estado de Iowa em 1976; onde um pavimento de 41 anos foi demolido, britado e utilizado como agregado na preparação do concreto necessário para construção de um pista de rolamento com 1650 m de comprimento e 22,5 cm de espessura.

Um dos projetos de reciclagem de pavimentos de maior monta data da reconstrução da rodovia do Edens em Illinois; foram reciclados 24 km de um pavimento com 6 (seis) faixas de rolamento e utilizados como material para novas sub-base nos anos de 1978 e 1980.

Além destes exemplos, pode ser encontrado um número infindável de outros nos quais foram aplicadas as técnicas de reciclagem visando a reutilização do material obtido como agregados para concreto de pavimentos rodoviários.

Segundo HENDRIKS [1985], na Holanda tem sido reciclado concreto para produção de agregados graúdos, utilizados em concretos estruturais nos pavimentos de aeroportos; as resistências medias obtidas têm sido de 10 a 20% inferiores aos valores alcançados com os concretos de referência, produzidos com agregados naturais.

Como exemplo de aplicação, pode ser citada a construção da pista do aeroporto de Maastricht cuja resistência característica especificada foi $\geq 37,5$ MPa.

No Japão por enquanto o uso em pavimentos é o único permitido, uma vez que as autoridades locais ainda não aprovaram a “Proposta de normalização japonesa para a utilização de agregados reciclados e concretos com agregados reciclados” [KASSAI - 1985].

Em São Paulo, a utilização de agregados reciclados para execução de sub-base de pavimentação já acontece em boa escala, desde a instalação da usina de Itatinga em 1991, com capacidade de 100t/dia de resíduos [CORBIOLI - 1996].

Pavimentos executados com materiais reciclados estão situados em vias secundárias de tráfego, tendo já sido executado mais de 80 km de pavimentação nestas condições, demonstrando assim a viabilidade de uso dos resíduos reciclados [PINTO e LIMA - 1993].

Na produção de concreto estrutural

A utilização de agregados reciclados para produção de concreto estrutural, capaz de atingir determinada resistência característica especificada em projeto é recente e tem sido difundida e incentivada a partir de meados da década de 1980, fato que pode ser constatado pelos exemplos seguintes.

A Holanda, a partir de 1985, permitiu a utilização de agregados reciclados para produção de concretos com as mais diversas finalidades, segundo HENDRIKS [1984]. A primeira vez que se produziu um concreto estrutural na Holanda com agregados reciclados, ocorreu em Amersfoort, na produção de painéis pré moldados para paredes divisórias de um edifício residencial. O concreto utilizado foi produzido com o mesmo consumo de cimento de um concreto de referência dosado para atingir uma resistência característica $\geq 22,5 \text{ MPa}^5$; embora tenha havido necessidade de se elevar o consumo de água para tentar obter a mesma plasticidade; a maior retração ocorrida, não provocou fissuras nas paredes. Mesmo elevando-se o consumo de água, o concreto apresentou menor fluidez, conseqüentemente houve necessidade de uma maior energia de vibração para seu adensamento.

No Japão, embora o único uso permitido por enquanto seja em pisos, também tem sido realizado pesquisas e concentrado esforços para, a aprovação da “Proposta de normalização japonesa para a utilização de agregados reciclados e concretos com agregados reciclados” [KASSAI - 1985].

O Instituto de Pesquisas do Ministério da Construção do Japão construiu uma pequena residência como parte de um trabalho de desenvolvimento tecnológico para a reutilização do entulho de construção.

Nesse projeto, os agregados de concreto reciclado foram utilizados na preparação de concretos usinados, as principais propriedades no estado fresco e no estado endurecido não apresentaram valores discrepantes em relação aos concretos de referência. O comportamento da estrutura construída com este concreto tem sido monitorada constantemente, de modo a possibilitar a avaliação de seu desempenho a médio e a longo prazo, todavia os resultados parciais ainda são insuficientes para conclusões.

A URSS permite a utilização de concretos com agregados reciclados, para utilização em fundações, com resistência característica $\geq 20 \text{ MPa}$. [ZAGURSKIJ e ZHADANOVSKIJ - 1985]

2-2-3 Vantagens e desvantagens para o meio ambiente decorrentes da instalação de usinas de reciclagem

⁵ O texto original não esclarece se a resistência alcançada pelo concreto pelo concreto agregado reciclado atingiu a resistência característica desejada $\geq 22,5 \text{ Mpa}$, ou não. Acredita-se que sim.

Quando são analisados os problemas ambientais decorrentes da instalação de usinas de reciclagem, surgem imediatamente as seguintes indagações.

-como serão afetadas as áreas adjacentes à indústria?

-a quantidade de poeira gerada pelo processo de reciclagem de entulho será excessiva?

-existiriam vantagens econômico-financeiras e quais são elas, em instalar uma usina de reciclagem?

A resposta a estas perguntas não é fácil de ser dada e para tentar obtê-las deve-se ponderar as vantagens e desvantagens inerentes ao processo de instalação de uma usina de reciclagem.

Vantagens:

- Reutilização de componentes minerais que seriam desprezados e simplesmente depositados em aterros ou clandestinamente em áreas urbanas, assoreando córregos ou obstruindo vias públicas.
- Racionalização da utilização da frota de caminhões existente na cidade, colaborando, com a melhoria do trânsito urbano e, conseqüentemente, economizando combustível.
- Preservação dos recursos minerais naturais não renováveis.

Desvantagens:

- Poderia ser gerado um fluxo de veículos indesejável em determinadas áreas o que causará problemas a algumas entidades ou a determinados setores da cidade.
- Por ocasião da instalação da usina, poderão ser criados problemas estéticos, causando poluição visual na paisagem natural da cidade.
- Com a instalação da usina acaba-se criando locais potencialmente capazes de produzir poeira e gerar ruídos.

Aspectos relativos à reciclagem de entulho são discutidos por MUNRO [1981] que conclui que os principais problemas que devem ser controlados na instalação de uma usina de reciclagem de entulho são:

Emissão de poeira

Segurança e proteção dos operadores

Nível de ruídos produzidos (poluição sonora)

Impacto visual no meio ambiente (poluição visual)

A emissão de poeira - deve ser controlada e limitada de acordo com códigos específicos do município no qual se pretende instalar a usina de reciclagem.

A forma mais fácil de controlar a geração de poeira será através da utilização de água. Os caminhos de acesso, assim como as pilhas de matéria prima na área da instalação devem ser

continuamente molhados; preferencialmente deverá ser empregada uma fina neblina para umedecer o material que alimentará o britador e o material produzido nas operações de britagem. Essa neblina deverá ser muito fina, sob pena da fração mais fina do material obtido ser disfarçada. Um redutor de tensão superficial deverá ser adicionado à água a fim de se conseguir a redução do volume de água necessária para umedecer o material. Todos esses procedimentos devem ser adotados para reduzir a emissão de poeira e minimizar os problemas advindos da respiração do pó, como a silicose.

Segurança e proteção dos operadores - os operadores da usina não devem ficar expostos a níveis de ruídos superiores a 90 decibéis a cada 8,00 horas diárias. Nos casos em que o trabalho for executado em áreas extremamente barulhentas, tais como áreas de estocagem de matéria-prima, aterros ou lagoas de deposição, o efeito prejudicial causado pelo elevado nível de ruído poderá ser atenuado por meio da construção de cabines acústicas estrategicamente posicionadas. Desta maneira, os operadores da usina estarão abrigados em cabines seguramente posicionadas. A proteção e segurança dos operadores da usina poderá ser aprimorada pela adoção de medidas administrativas, como, rodízio do pessoal durante o turno de trabalho, dos equipamentos mais barulhentos para os equipamentos menos barulhentos e medidas operacionais, como isolamento do conjunto do britador e suas peneiras. Como regra geral, deverá ser controlado o nível de ruídos; caso este seja ultrapassado eventualmente, os funcionários deverão utilizar protetores auriculares.

O nível de ruídos produzido - o ideal será que nas áreas circunvizinhas à usina este nível não ultrapasse 55 decibéis no período diurno e 50 decibéis no período vespertino, eventualmente será permitida a ultrapassagem destes limites em 15 decibéis por períodos inferiores a um minuto.

O distanciamento da fonte geradora de ruído, ainda é a melhor forma de controlar a poluição sonora. Cada vez que a distância dobra, reduz-se em 6 (seis) decibéis o nível de ruídos; todavia, em zonas urbanas esta não é a forma mais prática de controlar o nível de ruídos emitidos, pois nem sempre grandes áreas estarão disponíveis.

Impacto visual no meio ambiente - uma usina de reciclagem deve estar totalmente integrada à paisagem para não causar qualquer espécie de poluição visual. A combinação de taludes com distintas inclinações e arbustos, pode constituir uma barreira eficiente capaz de separar uma usina de reciclagem e seus estoques de matéria-prima do ambiente que a circunda.

Caso haja necessidade de controle da poluição química, este poderá ser efetuado através da retirada do entulho contaminado por madeira impregnada, plásticos, tecidos, cabos elétricos, metais não ferrosos, aço (excetuando-se pequenas quantidades existentes nos concretos armados), solo, barro, gesso, além de outros materiais deletérios, como óleo, graxa, e outros componentes capazes de apresentarem contaminação química [HANSEN – 1992].

Entretanto, esse controle acaba elevando o custo dos métodos de demolição, reduzindo sensivelmente a quantidade de material que poderá ser reciclado encarecendo assim o custo final dos agregados obtidos.

2-3 Qualidade dos agregados obtidos por meio da reciclagem do entulho de construção

O simples fato de produzir agregados reciclados bem graduados e limpos, não será suficiente para garantir a qualidade do processo de reciclagem. O material deverá ser adequado à finalidade específica para a qual se destina, ou seja, fisicamente, sua granulometria deverá enquadrar-se dentro de determinados limites e, quimicamente, só poderá conter níveis mínimos toleráveis de

contaminação, para que, desta forma, o concreto produzido possa ser durável e haja garantia da estabilidade das estruturas construídas.

O material a ser reciclado terá que ser britado peneirado e quando necessário descontaminado, após o que poderá ser aplicado para vários propósitos como aterros, drenagens de grandes áreas, materiais para base ou sub-base de pavimentos rodoviários e produção de novos concretos.

2-3-1 Forma, textura e granulometria dos agregados obtidos pela reciclagem do entulho.

A utilização de agregados que atendam a determinada finalidade, bem como para produção de concreto, está baseada em critérios granulométricos preestabelecidos, sendo importante também considerar a forma de seus grãos e sua textura, uma vez que as formas mais angulares, ou seja menos arredondadas, assim como texturas mais porosas são responsáveis por maior consumo de água em argamassas e concretos.

2-3-1-1 Forma

De acordo com estudo realizado por RAVINDRARAJAH e TAM - [1985] a forma das partículas dos agregados reciclados é mais angular que a dos agregados naturais.

Com base em pesquisas executadas por HANSEN e NARUD - [1983] pode-se concluir que os agregados miúdos reciclados provenientes de processo de britagem, apresentam forma maiores e mais angulosas do que seria desejável para produção de boas misturas.

Uma vez que os agregados miúdos reciclados contêm um grande número de partículas angulares, não constitui surpresa o fato de que concretos elaborados exclusivamente com estes agregados, sejam mais consistentes e conseqüentemente apresentem, menor trabalhabilidade do que concretos preparados com agregados naturais utilizando-se com o mesmo traço. HUISMAN e BRISTON - [1981].

2-3-1-2 Textura

Quanto à textura, a diferença fundamental entre a superfície dos agregados naturais e a dos reciclados é que as primeiras são praticamente polida enquanto que as outras, podem ser classificadas como ásperas a muito ásperas - [HAMSSAKI et al. 1996].

Esta diferença pode ser explicada, pela argamassa original aderida à superfície do agregado reciclado.

2-3-1-3 Granulometria

Tabela II-7 mostra, a distribuição granulométrica de um agregado reciclado obtido em laboratório num britador de mandíbula cuja abertura das mandíbulas foi ajustada para 24,8 mm na posição fechada⁶.

⁶ Posição fechada, deve ser entendido como a distância mínima entre as mandíbulas do britador.

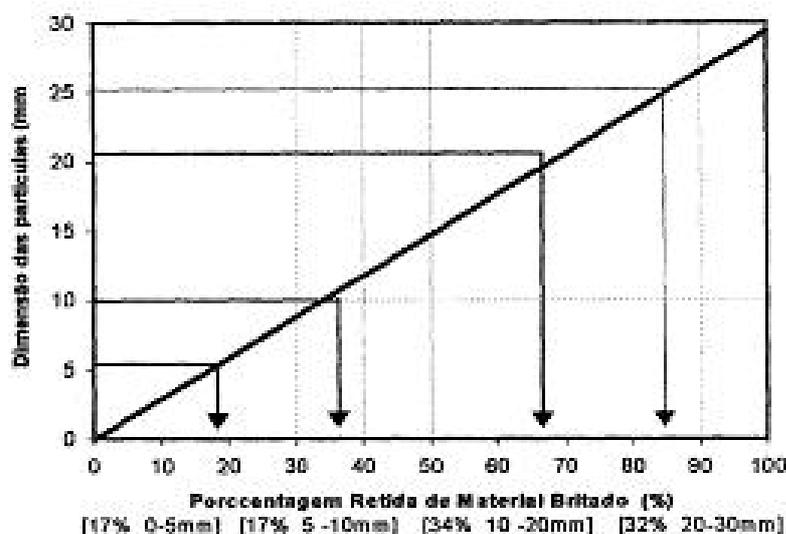
Tabela II-7 Granulometria dos agregados de concreto reciclado HANSEN e NARUD - [1983]

Dimensão dos grãos dos agregados(mm)	Porcentagem acumulada, de material britado, retida nas diversas peneiras em função do concreto britado.			(%) Estimada em massa do material britado conforme indicado na Figura II-6
	Concreto de elevada resistência a/c = 0.40	Concreto de resistência média a/c = 0.70	Concreto de baixa resistência a/c = 1.20	
> 30	3.0	4.2	3.2	0
30 - 20	27.4	31.9	27.6	32
20 - 10	35.9	33.2	33.5	34
10 - 5	14.7	13.4	13.2	17
< 5	19.1	17.3	22.5	17

O equipamento foi alimentado com 3 (três) concretos antigos moldados em forma de corpos de prova de 15 x 30 em partidos ao meio. Independentemente da qualidade do concreto, cuja relação a/c variou entre os limites de 0,40 e 1,20; a distribuição granulométrica dos agregados assim obtidos, não apresentou variações sensíveis em função do concreto utilizado.

Quando os fragmentos de rochas naturais são utilizados para alimentação de um britador, normalmente, o produto da britagem apresentará uma distribuição linear onde 15% do produto britado será superior ao tamanho utilizado para regular a abertura das mandíbulas como mostrado na Figura II-6.

Figura II-6 Dimensão de partículas X [%] retida de material



Estudos realizados no Japão, relatados pela B.C.I.S. [1978] confirmam que 20% em massa, do agregado, reciclado fino, abaixo de 4,8 mm é produzido quando o concreto velho é britado num britador

de mandíbula com abertura de 33 mm, independentemente da qualidade do concreto de origem, como indicado na Tabela II-2. Quando a abertura do britador aumenta, diminui a porcentagem de material inferior a 4,8 mm; todavia, diminuindo a resistência do concreto, pode ser observado apenas um aumento insignificante na porcentagem de material passante pela peneira de abertura de malha 4,8 mm.

Na tabela II-8 são apresentados os dados obtidos nas pesquisas elaboradas pela [B.C.S.J – 1977]; [RAVINDRARAJAH e TAM – 1985] ^[65].

Tabela II-8 Porcentagem de material passante pela # 4,8 mm

B.C.S.J - [1978]		RAVINDRARAJAH e TAM - [1985]	
Abertura da mandíbula	(%) de agregado fino reciclado passante # 4,8 mm	Resistência do concreto reciclado (MPa)	(%) de agregado fino reciclado passante # 4,8 mm
60	14.1	22	26.5
80	10.6	30	25.7
120	7.0	37	23.1

Com a finalidade de manter a coesão e a trabalhabilidade do concreto fresco será necessário que haja de 25 a 40 % em massa de agregado miúdo em relação ao agregado total existente, dependendo do tipo de areia e do seu módulo de finura, da relação a/c e do D_{max} do agregado graúdo [HANSEN – 1992].

Em Iowa foi desenvolvido um projeto de reciclagem para produção de um concreto normalizado, específico para pavimentos; suas melhores propriedades no estado fresco foram alcançadas, quando se utilizou na dosagem da mistura de 50% de agregados finos e 50% de agregados graúdos ($D_{max} \leq 38$ mm) em massa. O agregado miúdo utilizado foi composto por 25% de areia natural e 75% de um agregado fino reciclado [HUISMAN e BRITSON – 1981] ^[71].

Finalmente, para avaliar a qualidade dos agregados reciclados produzidos da britagem de concretos antigos em britadores de mandíbulas, apresentam-se os resultados de uma pesquisa realizada na Dinamarca por HANSEN e NARUD - [1983]; e outra no Japão por KAWAMURA et al. - [1983], estes resultados são comparados com as recomendações da norma ASTM C-33 referente à granulometria dos agregados graúdos e miúdos para produção de concreto.

O agregado obtido por reciclagem de concretos velhos foi dividido em duas frações:

Material passante na peneira nº 4 ASTM (4,8 mm).

Material retido na peneira nº 4 ASTM (4,8 mm).

Para o material considerado agregado graúdo (retido na peneira de abertura 4,8 mm), está evidente que os resultados obtidos, ressalvando-se pequenos ajustes a serem feitos, são compatíveis, com as exigências da norma ASTM C-33, como indicado na Figura II-7.

Já para a fração considerada agregado miúdo, passante na peneira nº 4 a comparação dos resultados indica claramente que este material é mais grosso, que o limite máximo recomendado pela ASTM C-33), pois praticamente a dimensão de todos os grãos é superior à dimensão máxima, necessária à produção de um bom concreto de acordo com as normas Britânicas, conforme ilustrado na Figura II-8.

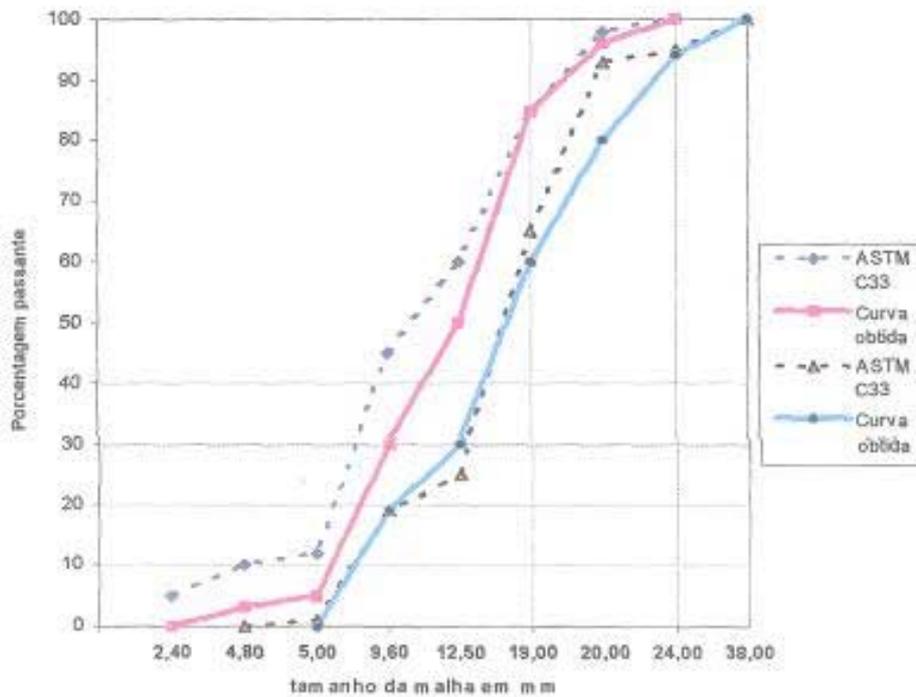


Figura II-7 Curva granulométrica do agregado graúdo, retido na peneira 4,8 mm

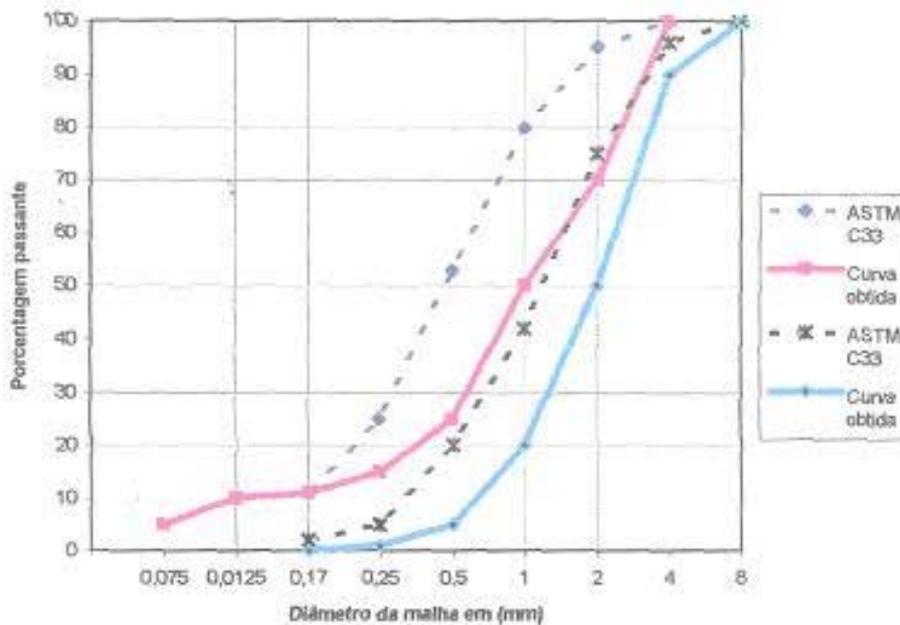


Figura II-8 Curva granulométrica do agregado miúdo passante na peneira 4,8 mm

2-3-2 Principais diferenças entre agregados reciclados e agregados naturais.

A diferença fundamental existente entre os agregados naturais e os agregados reciclados é que nos agregados reciclados sempre existirá certa quantidade de argamassa do concreto original aderida à superfície dos mesmos.

Devido a esta camada de argamassa, estes agregados apresentarão propriedades diferentes das apresentadas pelos agregados naturais, principalmente maior absorção de água e maior deformabilidade.

Com o intuito de visualizar a camada de argamassa aderida à superfície dos agregados graúdos reciclados, [HEDEGAARD – 1981] preparou uma amostra composta de agregados reciclados contendo diferentes faixas granulométricas, utilizado-os no preparo de um concreto com cimento de coloração vermelha. Foram moldados corpos de prova cúbicos, que após a cura foram fatiados em lâminas e, estas lâminas polidas, foram observadas no microscópio óptico. A argamassa aderida às pedras naturais existente nos agregados reciclados assim como a pasta de cimento colorida, puderam ser claramente distinguidas por meio de um método similar ao descrito na norma ASTM C457- 71 “Standard recommended practice for microscopically determination of air-void content and parameters of the air-void system in hardened concrete”.

A situação observada no microscópio óptico está representada esquematicamente na Figura II-9.



Figura II-9 Representação da argamassa aderida ao agregado existente no concreto produzido com agregado reciclado

A seguir são apresentadas tabelas extraídas de pesquisas realizadas com o intuito de registrar as diferenças entre agregados reciclados e naturais.

A Tabela II-9 apresenta a massa específica e a absorção de água de diversas faixas granulométricas de agregados de argamassa.

Tabela II-9 Massa específica e absorção de água de agregados reciclados de argamassas HANSEN e NARUD - [1983]

Água /cimento	Faixa granulométrica	Massa unitária	Absorção de água (%)
0,40	4-8	2036	17,0
	8-16	2060	17,0
	16-32	2148	15,6
0,70	4-8	2041	17,0
	8-16	2060	16,2
	16-32	2091	15,8
1,20	4-8	2070	16,5
	8-16	2068	16,5
	16-32	2081	16,5

A Tabela II-10 apresenta comparação de resultados obtidos para absorção de água e a massa específica entre agregados naturais e reciclados de concreto com diferentes relações a/c.

Tabela II-10 Propriedades dos agregados naturais e reciclados, HASABA et al. - [1981]

Tipo de agregado	Massa específica SSS (kg/m ³)	Absorção de água (%)	Quantidade de argamassa aderida % em volume
Agregado natural D _{máx.} = 14,8 mm	2700	1.14	-
Agregado reciclado D _{máx.} = 24,8 mm a/c = 0,42	2430	6.76	38.4
Agregado reciclado D _{máx.} = 24,8 mm a/c = 0,53	2430	6.93	36.7
Agregado reciclado D _{máx.} = 24,8 mm a/c = 0,74	2430	7.02	35.5
Agregado reciclado miúdo D _{máx.} < 4,8 mm	2310	10.9	-

A Tabela II-11 elaborada por HANSEN E NARUD - [1983] com base nos resultados da pesquisa de BEDEGAARD [1981] apresenta a síntese das diferenças entre as propriedades dos agregados naturais e dos agregados reciclados, selecionados em 3 (três) faixas granulométricas diferentes obtidos de concretos com diferentes relações a/c.

A Figura II-10 apresenta a evolução da porcentagem de pasta de cimento aderida à superfície de agregados reciclados de 3 (três) concretos com diferentes relações água/cimento. Pela análise da Figura II-10 torna-se claro que a relação a/c não é determinante da quantidade de pasta aderida à superfície. Por outro lado, conforme indicado na Tabela II-11, a dimensão das partículas do material britado apresenta influência significativa na quantidade de argamassa aderida à superfície do agregado reciclado.

Como a argamassa aderida é sempre mais porosa que o agregado natural, ela contribuirá para aumento da absorção de água sendo, esta justamente a origem. de todas as diferenças existente entre os agregados naturais e reciclados.

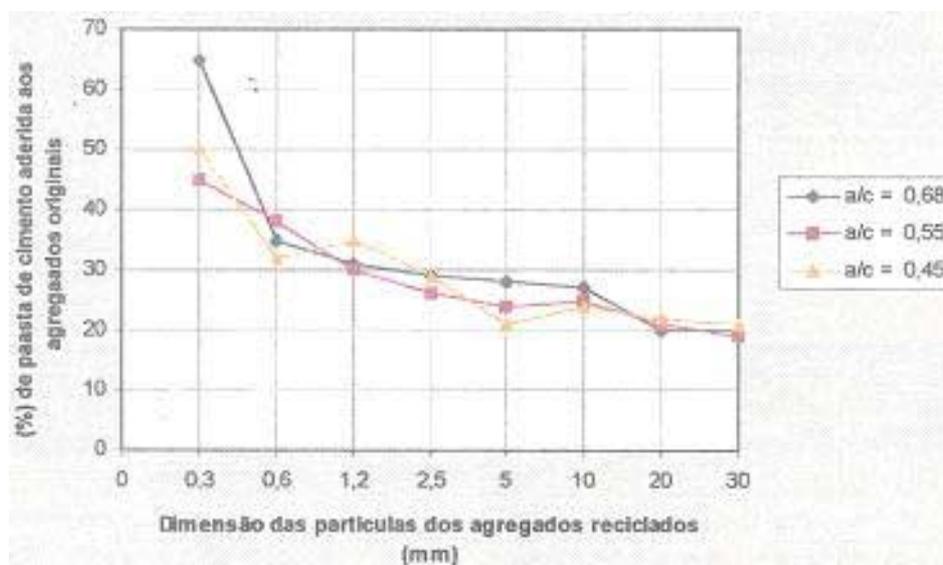


Figura II-10 Porcentagem em massa de pasta de cimento aderida às partículas dos agregados originais existentes no agregado reciclado [B.C.S.J.-1978]

Uma vez que os dados apresentados na Tabela II-9, Tabela II-10 e na Tabela II-11 referem-se a agregados de diferentes origens, não será possível chegar a uma conclusão definitiva quando estes valores forem comparados.

Da análise individual das tabelas anteriormente mencionadas, fica evidente o fato que agregados reciclados de argamassas apresentam grau de absorção de água entre 15 e 17 %, valor que é praticamente o triplo do encontrado, para agregados reciclados de concreto, cujos limites estão entre 3,7 a 7%.

Já os valores da absorção de água para agregados naturais, oscilam entre 0,8 e 3,7%, de acordo com as pesquisas apresentadas. Valores muito inferiores aos de qualquer agregado reciclado.

Quanto à porcentagem de argamassa aderida a superfície do agregado reciclado, os resultados apresentados indicam que, a porcentagem de argamassa aderida é menor para os agregados de maior dimensão característica.

Quanto à massa específica, é interessante observar que para as frações menores dos agregados, seu valor diminui, pois a quantidade de argamassa aderida à superfície é maior percentualmente, esta, tendo massa específica menor que a do agregado natural, logicamente terá um valor menor.

De acordo com a “Proposição japonesa de norma para utilização de agregados reciclados e concreto de agregado reciclado” B.C.S.J. -[1977].

1. Os agregados reciclados só devem ser utilizados para produção de novos concretos quando a absorção de água for inferior a 7% no caso de agregados graúdos, e superior a 13% no caso de agregados miúdos. Logo, segundo esta mesma proposição, os agregados obtidos na pesquisa que deu origem à Tabela II-11 teriam sua utilização aprovada em novos concretos.
2. A produção de novos concretos com agregados reciclados requer atenção especial no caso em que as propriedades desejadas forem resistência mecânica e durabilidade, pois, uma vez que apresentam absorção de água mais elevada, demandarão mais água para atingir a trabalhabilidade ideal, logo, tornar-se-ão mais porosos e conseqüentemente terão sua resistência à compressão assim como sua durabilidade diminuídas.

Tabela II-11 Propriedades dos agregados naturais X Propriedades dos agregados reciclados HANSEN E NARUD - [1983]

Tipo de agregado	Fração granulométrica em (mm)	Massa específica (kg/m ³)	Absorção de água (%)	Abrão Los Angeles (%) (L 500)	Número de uniformidade Los Angeles L100/1500	B. S. Valor de britagem do agregado (%)	Argamassa aderida ao agregado natural (%) volume
Agregados originais	4 - 8	2500	3,7	25,9	0,28	21,8	0
	8 - 16	2620	1,8	22,7	0,22	18,5	0
	16 - 32	2610	0,8	18,8	0,20	14,5	0
Agregado reciclado Concreto a/c = 0,40	4 - 8	2340	8,5	30,1	0,30	25,6	58
	8 - 16	2450	5,0	26,7	0,25	23,6	38
	16 - 32	2490	3,8	22,4	0,24	20,4	35
Agregado reciclado Concreto a/c = 0,70	4 - 8	2350	8,7	32,6	0,31	27,3	64
	8 - 16	2440	5,4	29,2	0,28	25,6	39
	16 - 32	2480	4,0	25,4	0,25	23,2	28
Agregado reciclado Concreto a/c = 1,20	4 - 8	2340	8,7	41,4	0,38	28,2	61
	8 - 16	2420	5,7	37,0	0,39	29,6	39
	16 - 32	2490	3,7	31,5	0,38	27,4	25
Agregado reciclado Concreto a/c = 0,70	< 5	2280	9,8	-	-	-	-

2-3-3 Impurezas existentes no entulho

Conforme citado anteriormente, no item 1-3 Composição do entulho de construção civil, podem existir substâncias no entulho como argila, resíduos de pavimentos betuminosos, gesso, material refratário, madeira, vidros e outras como cloretos, álcalis, areias industriais quimicamente contaminadas, as quais poderiam permanecer no agregado reciclado contaminando assim o concreto novo que viesse a ser produzido com eles. A consequência imediata seria a produção de um concreto de baixa durabilidade ou com redução dos valores de suas propriedades mecânicas.

Com finalidade de constatar qual o efeito causado por estas substâncias na resistência à compressão do concreto, elas foram adicionadas de forma independente, em várias proporções, aos agregados naturais e reciclados utilizados na produção de concretos de acordo com critérios do estudo elaborado pela B.C.S.J- [1978] e MUKAI et al.- [1979]. Neste estudo foram selecionados vários tipos de impurezas com o objetivo de determinar qual a porcentagem (em volume), em relação à quantidade de agregado, capaz de reduzir em 15% o valor da resistência à compressão do concreto, quando comparado com o concreto de referência. Seus principais resultados constam da Tabela II-12 , onde estão indicados os 6(seis) resíduos mais prejudiciais ao concreto. É interessante observar, que resíduos de telhas de barro e vidros, não foram incluídos neste grupo, pois os resultados obtidos comprovam que nenhum teor destes dois materiais provocam alterações sensíveis na resistência à compressão.

Complementando estas informações, apresenta-se na Tabela II-13 e na Tabela II-14, uma relação das impurezas mais frequentemente encontradas em concretos destinados à reciclagem, os valores a partir dos quais haverá alteração das propriedades do concreto, suas consequências, autor da pesquisa e os limites tolerados de cada substância.

Tabela II-12 Teores de impurezas em relação ao volume de agregados capazes de provocar redução de 15% na resistência à compressão [B.C.S.J. - 1977]

Tipo de impureza	Argamassa de cal	Solos	Madeira	Gesso hidratado	Asfalto	Tintas base PVA.
Volume em % de agregado	7	5	4	3	2	0,2

Tabela II-13 Principais impurezas e suas conseqüências quando introduzidas no concreto através da utilização de agregados reciclados

Tipo de impureza	[%] em volume de agregado	Conseqüência	Autor	Limites tolerados
Betume	30	Redução de 30% na resistência à compressão	[B.C.S.J.-1978]	Variável em função da utilização do concreto
Gesso		Efeitos deletérios devido a reações expansivas	NIXON 1978 SAMARAI 1976	0,5 % em massa dos agregados ou 4,0% da massa de cimento incluindo o sulfato do cimento
Matéria orgânica		Maiores problemas são constatados em concretos submetidos a ciclos de gelo e degelo	Proposição Japonesa de Norma [B.C.S.J.-1977]	2 kg/m ³ substâncias com massa unitária < 1200 kg/m ³ ~ 0,15 % massa de agregado

Tabela II-14 Tipos de impurezas e recomendações de uso e possíveis manifestações patológicas⁷

Tipo de impureza	Recomendações, normas e possíveis manifestações patológicas								
Cloretos	<p style="text-align: center;">Segundo ACI Committee 201</p> <p style="text-align: center;">Limites expressos em relação a massa de cimento:</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Concreto protendido</td> <td style="text-align: right;">0,06%</td> </tr> <tr> <td>Concreto armado convencional em meio ambiente úmido sujeito à ação de cloretos</td> <td style="text-align: right;">0,10%</td> </tr> <tr> <td>Concreto armado convencional em meio ambiente úmido não sujeito à ação de cloretos</td> <td style="text-align: right;">0,15%</td> </tr> <tr> <td>Construção de grandes estruturas onde o concreto será lançado seco</td> <td style="text-align: right;">não há limites</td> </tr> </table> <p>Estas são as normas para concretos com agregados convencionais, e podem de acordo com a Proposição Japonesa ser aplicadas aos concretos produzidos com agregados reciclados.</p>	Concreto protendido	0,06%	Concreto armado convencional em meio ambiente úmido sujeito à ação de cloretos	0,10%	Concreto armado convencional em meio ambiente úmido não sujeito à ação de cloretos	0,15%	Construção de grandes estruturas onde o concreto será lançado seco	não há limites
Concreto protendido	0,06%								
Concreto armado convencional em meio ambiente úmido sujeito à ação de cloretos	0,10%								
Concreto armado convencional em meio ambiente úmido não sujeito à ação de cloretos	0,15%								
Construção de grandes estruturas onde o concreto será lançado seco	não há limites								
Aditivos Químicos	<p>Se utilizados de acordo com as quantidades recomendadas, dificilmente serão fonte de contaminação dos agregados reciclados. [HANSEN e HEDEGAARD- 1984]</p>								
Solos Orgânicos e Argilas	<p>A contaminação causada por matéria orgânica e solos argilosos têm o mesmo efeito, tanto para os agregados convencionais como para os agregados reciclados. Devem receber o mesmo tratamento e adotadas as mesmas especificações relativas aos agregados convencionais.</p>								
Metais	<p>Pequenas quantidades de aço da armadura, pontas de arame aprisionados nos agregados reciclados podem causar manchas e danos superficiais no concreto em virtude de sua oxidação.</p>								
Vidros	<p>O vidro plano é um tipo de impureza que pode ser potencialmente perigoso pois poderá participar das reações álcali-silica deletérias HANSEN - [1992].</p>								
Alvenaria	<p>Quando os agregados reciclados contêm quantidades de componentes de alvenarias inferiores a 5% em massa, as alterações nas propriedades mecânicas dos concretos serão insignificantes. Entretanto, do ponto de vista da durabilidade a situação pode ser muito diferente, principalmente se houver material refratário presente que contenha alto teor de periclásio MgO, pois concentrações da ordem de 0,01% podem ser prejudiciais de acordo com HANSEN -[1992]</p>								

⁷ Os dados apresentados Tabela II-14, são parte de um estudo sobre impurezas presentes no entulho de construção, isto não significa que estejam presentes em todo e qualquer categoria de material destinado à reciclagem.

2-4 Aspectos econômicos da reciclagem

Evidentemente que qualquer produto fabricado de forma industrial ou artesanal deve ser comercializável pois, caso contrário, estará fadado ao desaparecimento por mais sofisticada e avançada que seja a tecnologia agregada em sua fabricação.

Quando o entulho de construção civil é reaproveitado ou reciclado, também ocorre este fato, por isso, resolveu-se abordar neste estudo alguns aspectos econômicos inerentes aos processos de reciclagem.

Como foi mostrado até este momento, a reciclagem de entulho pode ser executada com a utilização de britadores de mandíbula, de impacto, cones de britagem ou moinhos de rolos.

Evidentemente que a operação de todos estes equipamentos demanda recursos a serem considerados na determinação do custo final dos agregados produzidos.

2-4-1 Para produção de agregados graúdos.

A melhor forma de considerar os aspectos econômicos relativos à reciclagem é apresentar um exemplo que poderia ser um caso prático.

Imaginando-se que fosse necessário processar 100 a 150 m³ por dia, de entulho na cidade de São Paulo⁷, e que para isso fosse utilizado um pequeno conjunto dotado dos equipamentos a seguir:

Britador de mandíbulas (com 1 eixo e boca de 300 x 200mm)

Peneira horizontal

Motor trifásico de 20 H.P.

Para determinar o custo unitário do material reciclado, será necessário conhecer o custo horário e a produção do equipamento, indicados a seguir:

Dados do equipamento

valor do conjunto	(U\$)	85.000,00
vida útil	(horas)	10.000
período de operação mensal	(horas)	250
produção horária	(material britado com $D_{max} = 38mm$)	10,0m ³ /h ⁸

Custo horário do equipamento:

- depreciação do equipamento	(ao longo da vida útil 10.000 h)	8,50
- remuneração do capital, Ouros	(juros de 1,5% a.m. durante a vida útil 40 meses)	6,92
- consumo de energia	(15Kwh x U\$0,15/h)	2,25
- manutenção	(adotado = consumo)	2,25
- operador	(responsável pela usina, salário + encargos)	8,00
Total		U\$ 27,92/h

⁷ Como foi visto anteriormente, o entulho normalmente encontrado na cidade de São Paulo é composto por 30% de materiais cerâmicos, 63% de argamassas e 7 % de outros resíduos.

⁸ Dado extraído do catálogo do equipamento

Custo unitário do agregado reciclado⁹

- custo horário do equipamento ÷ produção horária

US\$ 2,80 /m³

Valor 8 a 10 vezes inferior ao valor médio dos agregados encontrados em São Paulo.

Evidentemente para que estes números sejam viáveis, haverá necessidade da existência de:

- Um fornecimento regular de matéria prima (entulho de construção).
- Garantia de uma produção mensal equivalente a 250 m³.
- Controle permanente e rigoroso da qualidade do material recebido para evitar a contaminação dos agregados reciclados.
- E um mercado apto a absorver esta produção.

Note-se que o exemplo analisado é um caso particular de um material relativamente brando, entulho de construção encontrado em São Paulo, caso haja necessidade de equipamentos maiores para britagem de materiais mais duros, resíduos de concreto por exemplo e, caso seja necessário atingir produções maiores, evidentemente, a análise de custo deverá ser outra.

Pesquisadores como FRONDISTOU-YANNAS - [1984], FRONDISTON et al. -[1985] nos Estados Unidos, e DREES [1989] na República Federal da Alemanha e entidades como o CUR - [1986] na Holanda, já elaboraram trabalhos enfocando os aspectos econômicos das operações de reciclagem, que são unânimes quanto às recomendações para o sucesso de uma instalação de reciclagem, resumidamente, estas são as principais conclusões apresentadas:

- O fornecimento de material a ser reciclado deverá ser constante e abundante.
- O custo para disposição do entulho deverá ser elevado, assim esta prática será evitada, e a reciclagem acabará por se tomar uma alternativa viável.
- O acesso dos caminhões basculantes que coletam o entulho deverá ser fácil e rápido, de modo a agilizar a chegada e a saída dos veículos.
- Os agregados naturais disponíveis na região deverão ser raros ou estar localizados em jazidas distantes, assim seu preço se tornará elevado.
- Deverá existir mercado capaz de consumir os agregados produzidos.

Acredita-se que estas recomendações aparentemente sejam óbvias e qualquer pessoa com um mínimo de tiro administrativo chegaria à mesma conclusão sem necessidade de realizar estudos especiais.

2-4-2 Para produção de agregados miúdos

⁹ Não foi considerado o custo do manuseio do material, imaginou-se um grau de sofisticação nas operações que possibilite o lançamento do entulho diretamente na tremonha do equipamento.

Optou-se por analisar uma situação particular em que os agregados miúdos são produzidos em um moinho de rolos, que simultaneamente funciona como misturador para produção de argamassa.

Acredita-se que seja mais relevante a comparação entre o custo das argamassas produzidas da forma convencional e com material reciclado, foi admitido que o valor da mão-de-obra em ambos os casos seja equivalente e assim, comparou-se apenas o valor dos materiais e dos equipamentos necessários aos distintos processos de produção.

Os resultados obtidos estão na Tabela II-15 e na Tabela II-16 seguir.

Tabela II-15 Comparativo de custos de argamassa, (materiais)

Materiais	Argamassa		Convencional (1:2:9)		Reciclada com adição cA (1:3:8)	
	Un	Pç unit. (US)	Consumo (kg/m ³)	Total (US)	Consumo (kg/m ³)	Total (US)
Cimento	kg	0,11	148	16,28	106	11,66
Cal	kg	0,08	202	16,16	-	-
Areia	m ³	30,00 ¹¹	0,93	27,90	0,77	23,10
Entulho	m ³	(-10,00)	-	-	(0,28)	(- 2,80)
Subtotal (materiais)			①	US\$ 60,34	②	US\$ 31,96

¹¹ Como os dados apresentados se referem a materiais secos, utilizou-se para a areia, preço médio encontrado no mercado, majorado em 25%.

Tabela II-16 Comparativo de custos de argamassa, (equipamentos)

Equipamento	Produção horária (m ³ /h)	Locação (US/h)	Locação (US/h)
Betoneira (508l)	1,00	1,50	-
Moinho argamasseira (500 lt)	1,00	-	4,00
Subtotal (equipamentos)		③ US\$ 1,50/m ³	③ US\$ 4,00/m ³
<u>Custo para produção de 1m³ de argamassa (material + mão-de-obra)</u>		①+③ US\$ 61,84 /m ³	②+③ US\$ 35,98 /m ³

Considerações

Materiais

Consumo das argamassas convencionais, SELMO [1989] e MARTINELLI [1989].

Consumo das argamassas recicladas, resultados deste estudo.

Entulho com valor negativo, deixou de ser retirado da obra.

Consumo de areia, é relativo a material seco.

Equipamentos

Valor mensal (preço médio da praça) \div 220 h mensais.

Produção mensal, obtidas das obras visitadas; esta produção só foi ser atingida em obras habitacionais com o mínimo de 8 a 10 pavimentos na fase de pico, quando estavam sendo executadas alvenarias e revestimentos.

Neste capítulo, foram abordados os aspectos técnico econômicos relativos ao reaproveitamento e à reciclagem do entulho de construção além de terem sido indicados os equipamentos usuais destinados a esta finalidade; abordou-se também a qualidade dos agregados reciclados procurando-se estabelecer as principais diferenças entre estes e os naturais; na análise dos aspectos econômicos, determinou-se para casos particulares o custo unitário de agregados graúdos reciclados e foi comparado o custo dos materiais necessários para produção de 1m³ de argamassa com materiais reciclado e com materiais convencionais.

No próximo capítulo, serão estudadas as propriedades de concretos, argamassas e artefatos produzidos com agregados reciclados; sempre que possível, serão comparados os resultados obtidos para estes produtos aos equivalentes produzidos com materiais naturais.

Capítulo III PROPRIEDADES DOS CONCRETOS, ARGAMASSAS E ARTEFATOS DE CONCRETO PRODUZIDOS COM AGREGADOS RECICLADOS DE ENTULHO

3-1 Concreto com material reciclado

A partir de meados dos anos 80, nações desenvolvidas como os Estados Unidos, os países Asiáticos, e Europeus passaram a investir em pesquisas visando o desenvolvimento da produção de concretos que utilizavam como agregados resíduo mineral de obra (entulho).

Em virtude do comportamento apresentado por estes concretos ser bastante distinto em função da origem do agregado reciclado utilizado, os resíduos foram classificados em duas categorias as quais passaram a ser estudadas separadamente, sendo indicadas a seguir:

- resíduos provenientes de concreto.
- resíduos provenientes de alvenaria.

No transcorrer deste capítulo são analisados diversos trabalhos encontrados na literatura, que têm como objetivo avaliar o desempenho de concretos produzidos com eles.

3-1-1 Propriedades dos concretos no estado fresco

Os diversos trabalhos consultados são unânimes ao afirmar que os concretos preparados com agregados reciclados, apresentam consistência mais seca do que concretos convencionais preparados com a mesma relação água/cimento. A justificativa apresentada para esta tendência é a maior porosidade do agregado reciclado em relação ao agregado natural, que termina elevando a absorção de água conforme descrito na Tabela III-1.

Tabela III-1 Absorção de água de agregados [WELDER E HUMMEL -1946].

Agregados	Absorção de água em massa (%)
Naturais	1 a 6
Reciclados de concreto	4 a 14
Reciclados de alvenaria	20 a 35

3-1-1-1-Consistência e tempo de pega

Conforme citado anteriormente, sobre a superfície dos agregados reciclados existe uma camada de argamassa aderida que contribui para aumentar a absorção de água em relação aos agregados naturais; conseqüentemente, haverá necessidade de maior quantidade de água de amassamento para concretos produzidos com agregados reciclados. Experimentalmente, este fato foi comprovado por MUKAI [1978] que concluiu ser necessário cerca de 10 l/m³ de água, ou cerca de 5% a mais de água, nas misturas produzidas somente com agregados graúdos reciclados em relação aos concretos com agregados naturais. Quando produziu concretos utilizando exclusivamente agregados reciclados, a quantidade de água adicional / m³ foi de 25 l ou 15% de água.

A conclusões semelhantes chegaram outros pesquisadores: RAVINDRARAJAH E BUCH [1977] TAM [1985]; e MALHOTRHA - [1987]

Mais recentemente, G. Di NIRO [1996] elaborou um trabalho que demonstra a perda de trabalhabilidade de um concreto com a substituição de seus agregados naturais por reciclados, conforme os resultados indicados na Tabela III-2 a seguir.

Tabela III-2 Variação da consistência do concreto fresco em função da substituição dos agregados

Agregado	%	a/c	Água (p/m ³)	Consumo (p/m ³)	Tempo de passagem pelo funil Vebe		
					0	5 mim	15 mim
40TR	0	0.45	190	420	4	7	9
40RN	9	0.45	190	420	2	3	4
40RN	20	0.45	190	420	2	2.5	2

40 resistência de dosagem. TR agregado totalmente reciclado
 % de agregado natural em relação ao reciclado. RN agregado reciclado e natural

Embora o ensaio que registra o tempo de passagem pelo funil Vebe não seja usual entre nós, optou-se por apresentá-lo uma vez, que ilustra claramente a maior fluidez do concreto em função da redução de quantidade de agregados reciclados utilizados em sua composição.

RAVINDRARAJAH et. al. [1987] estudando o tempo de pega de concretos com agregados reciclados prepararam dois concretos distintos identificados na Tabela III-3, de acordo com os dados constantes na Figura III-1, chegaram à conclusão de que há redução de 30 min no tempo do fim de pega, quando todos os agregados naturais são substituídos por reciclados.

Tabela III-3 Concretos utilizados [RAVINDRARAJAH et. al. - 1987]

Composição dos agregados	Quantidade de material utilizado /m ³			Relação
	Cimento	Agregado kg	Água kg	a/c
GA	344	1818	196	0.57
RA	334	1692	190	0.57
RR'	344	1668	196	0.57

G granito
 A areia
 R reciclado graúdo
 R' reciclado miúdo

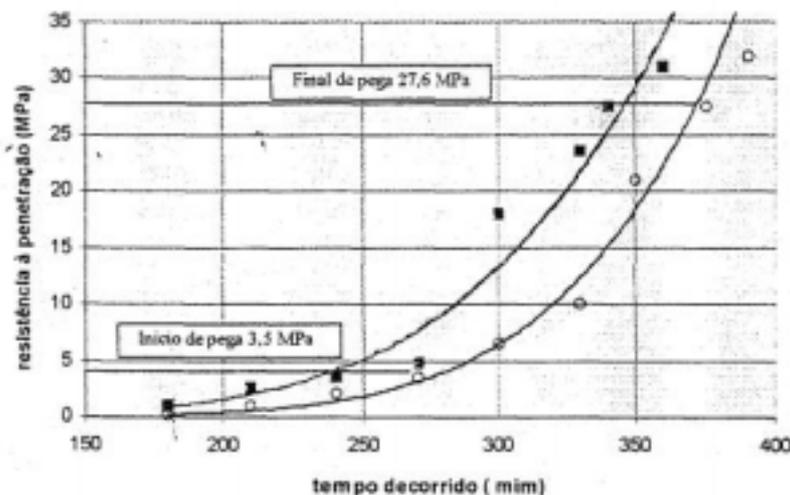


Figura III-1 Início e fim de pega [RAVINDRARAJAH et. al. - 1987]

Todavia, YANNAS [1977] de acordo, com o estudo que realizou, chegou à conclusão que praticamente não ocorria variação entre a consistência dos concretos produzidos com agregados naturais e com agregados reciclados conforme mostrado na Figura III-2.

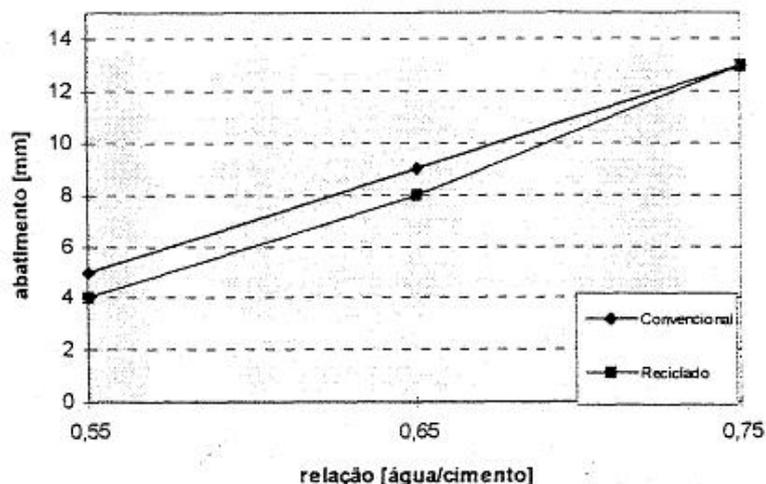


Figura III-2 Variação da consistência em função do agregado e da relação água/cimento [FRONDISTOU-YANNAS – 1977]

As características dos concretos utilizados no estudo elaborado por Yannas foram as seguintes:

Concreto convencional produzido com traço 1:2:3 em massa

Cimento do tipo I (ASTM C150)
 agregado graúdo granito britado com módulo de finura = 7,00
 agregado miúdo pó de pedra granito natural com módulo de finura =2,80

Concreto com material reciclado com traço 1:2:3 em massa

cimento do tipo I (ASTM C 150)
 agregado graúdo concreto proveniente da demolição de estruturas, com dois anos de uso
 (módulo de finura = 7,00)
 agregado miúdo pó de pedra granito natural com módulo de finura =2,80

Acredita-se que a proximidade de resultados obtida entre os concretos naturais e reciclados, deve ser atribuída ao fato de ter sido utilizado como agregado miúdo o pó de pedra, que possivelmente, tem elevada absorção de água, equivalente à do agregado miúdo reciclado.

IVANYI et. al. [1985] chegaram a conclusões similares trabalhando com concretos produzidos com agregados reciclados de alvenaria.

KASHINO E TAKAHASHI [1988] tentaram produzir concreto usinado utilizando agregado reciclado de concreto e concluíram que seria necessário umedecer previamente os agregados antes de sua utilização.

No porto de Antuérpia na Bélgica, foram britados 80.000 m³ de concreto velho posteriormente utilizados na produção de um novo concreto para construção de uma eclusa. Visando prevenir a rápida perda de trabalhabilidade os agregados foram imersos em água por 1(uma) hora antes da preparação da mistura, o que se revelou uma solução muito eficiente para o problema. [KVIW-TI - WTC – 1987].

Finalmente De Vires [1996] conclui que em consequência da forma mais angular e da maior absorção de água do agregado reciclado a demanda de água total do concreto fresco será maior quando comparado ao concreto de agregados naturais.

3-1-1-2 Consumo de cimento

Diversos pesquisadores japoneses KIKUCHI et al. [1988]; KASHINO e TAKAHASHI [1988]; YANAGI [1988] e YAMAMOTO [1988] concordam que a substituição de 30% dos agregados graúdos naturais não altera significativamente as propriedades dos concretos produzidos, portanto, esta seria a forma mais simples e mais econômica de utilizar agregados reciclados para usos gerais.

Baseado nos resultados destas pesquisas, imagina-se que a resistência à compressão de concretos produzidos com agregados, reciclados e areia natural jamais superaria a resistência do concreto de referência produzido exclusivamente com agregados naturais, pois haveria necessidade de aumentar em 5% a relação água/cimento para conservar a consistência. Portanto pode-se esperar que para manter a resistência do concreto com agregados reciclados igual à do concreto com agregados naturais, será necessário um acréscimo no consumo de cimento.

Caso o concreto seja preparado exclusivamente com agregados reciclados, de acordo com as pesquisas anteriormente citadas, haverá necessidade de elevar em cerca de 15% a relação a/c para manter a mesma consistência, fato que evidentemente obrigará a um aumento no consumo de cimento ainda maior para manter a resistência à compressão.

Para quantificar corretamente estes valores seria necessário preparar um estudo de dosagem para cada tipo de concreto e assim poder-se-ia interpretar fisicamente o fenômeno que ocorre à medida que são substituídos os agregados naturais pelos reciclados.

3-1-1-3 Massa unitária e ar aprisionado

Quanto mais compacto for um concreto melhor será seu desempenho, pois o aumento da massa unitária e a conseqüente redução do volume de ar aprisionado conduzirá a concretos mais compactos.

Outros pesquisadores também estudaram este assunto chegando à conclusão que a variação da qualidade do agregado não afeta primordialmente o valor da massa unitária conforme os resultados indicados na Tabela III-4.

Tabela III-4 Massa unitária e porcentagem de ar aprisionado HANSEN E NARUD- [1983]

Tipo de concreto	Massa unitária (kg/m ³)	Ar aprisionado (%)
A	2.360	1.3
A/A	2.250	1.5
A/M	2.250	1.6
A/B	2.250	1.9
M	2.350	1.9
M/A	2.250	0.9
M/B	2.250	1.2
M/B	2.240	1.6
B	2.290	1.9
B/A	2.210	1.5
B/M	2.200	2.2
B/B	2.200	2.2

onde:

A ⇒ concreto de alta resistência a/c = 0,40

M ⇒ concreto de média resistência a/c = 0,70

B ⇒ concreto de baixa resistência a/c = 1,20

Quando foram utilizadas duas letras para simbolizar o concreto, a primeira refere-se à resistência do concreto que está sendo produzido, a e segunda ao concreto que, reciclado, originou os agregados graúdos utilizados para produção do concreto novo.

Pelo exame dos dados constantes da Tabela III-4, percebe-se que a variação da massa unitária em função da qualidade dos agregados é pequena (2200 a 2250 kg/m³), para os concretos com agregados reciclados seu valor é cerca de 95% do valor da massa unitária do concreto de referência.

Por outro lado, MUKAI et al. [1979] em uma pesquisa similar obtiveram resultados para massa unitária de concretos com agregados reciclados entre 2020 a 2210 kg/m³ correspondendo a valores entre 85 e 95 % da massa unitária do concreto de referência produzido com agregados naturais.

Também HEDEGAARD [1981] pesquisou o assunto não encontrando diferença significativa entre a porcentagem de ar aprisionado no concreto com agregados reciclados e os concretos de referência; os agregados utilizados por HEDEGAARD foram obtidos pela britagem de concreto cuja quantidade de ar aprisionado era de 6,5 %.

De modo geral, o resultado das pesquisas encontradas na literatura, indica que o total de ar aprisionado é ligeiramente superior em concretos com materiais reciclados do que em concretos com materiais naturais, fato que leva a urna redução da massa unitária de 5 a 15%.

Certamente em laboratório, em condições especiais, poderão ser produzidos concretos com agregados reciclados sem aumento significativo do teor de ar aprisionado; conseqüentemente, a redução da massa unitária será menor que 5% em relação à mistura de referência.

3-1-1-4 Dosagem de concretos com agregados reciclados

Uma vez fixados os agregados a serem utilizados, para qualquer concreto, deverá valer a lei de Abrams e a lei de Lise, portanto, as hipóteses adotadas para dosagem racional de um concreto com agregados naturais poderão ser adotadas também para dosagem de concretos com agregado reciclado, evidentemente com pequenas ressalvas a serem consideradas.

Qualquer que seja o método de dosagem adotado¹ para determinação de um traço que leve a uma resistência característica, quando forem utilizados agregados reciclados, será necessário observar as seguintes alterações em relação ao caso de utilização de agregados naturais [TEYCHENNE et.al. - 1975]:

1. Deverá ser adotado maior desvio padrão no caso de não existir controle de qualidade dos agregados reciclados, pois no caso de agregados naturais e agregados reciclados sujeitos a controle de qualidade evidentemente o coeficiente de variação será menor.
2. Na fase do estudo de dosagem, poderá ser assumido que a relação água/cimento necessária para obter determinada resistência à compressão seja a mesma para concretos com agregados naturais ou concretos com agregados miúdos naturais e graúdos reciclados. Se, posteriormente, for comprovado pelo controle tecnológico que a resistência característica é inferior à projetada, a correção poderá ser executada pelo ajuste da relação a/c ou pelo aumento do consumo de cimento.
3. Concretos produzidos com agregados naturais e concretos produzidos com agregados miúdos naturais e graúdos reciclados, deverão apresentar a mesma consistência quando aos últimos forem acrescentados 10 l de água/m³.
4. Também para concretos com agregados reciclados, deverá ser determinada qual a relação que conduz à $\gamma_{\text{ótimo}}$ (maior compactidade) para mistura entre agregados graúdos e miúdos.
5. Normalmente esta relação será a mesma obtida para concretos de referência produzidos exclusivamente com agregados naturais.

3-1-2 Propriedades dos concretos no estado endurecido

Pelo que foi exposto até o momento percebe-se que:

- as propriedades dos concretos com agregados reciclados tanto no estado fresco como no estado endurecido dependem da quantidade, da granulometria e do tipo do material utilizado como agregado.
- quando o $D_{\text{máx}}$ do agregado reciclado for < 2 mm (agregado miúdo) será inviável economicamente sua utilização, na produção de concreto, uma vez que a alta absorção de água deste material quase sempre, leva um consumo de cimento elevado em relação a um concreto com agregados naturais com a mesma resistência característica.
- Todavia esta afirmação só pode ser endossada após um estudo técnico-econômico, considerando-se as características dos materiais locais e seus respectivos custos.

3-1-2-1 Resistência à compressão

Como esta é propriedade mais utilizada para avaliação do desempenho de um concreto, foi e continua sendo objeto de diversas pesquisas, desenvolvidas com maior intensidade a partir da década de 70 (setenta). Como regra geral, o objetivo de quase todas elas, foi relacionar a variação da

¹ Na Grã-Bretanha um dos métodos normalmente utilizados para dosagem de concreto é do DOE, Department of Environmental.

resistência à compressão com a relação água/cimento, com o traço e com a qualidade dos agregados reciclados. A seguir apresentam-se os resultados de alguns dos trabalhos na área.

Segundo um estudo realizado por [FRONDISTOU-YANNAS-1977], para os concretos indicados na Tabela III-5, e de acordo com os resultados apresentados na Figura III-3 e na Figura III-4, percebe-se que só houve uma diferença mais sensível entre os concretos ensaiados quando foi utilizado cimento do tipo 1 ASTM e relação a/c = 0,55.

Tabela III-5 Concretos de agregados reciclados ensaiados por [FRONDISTOU-YANNAS -1977]

Concreto de referência		Concreto de referência	
1 : 2 : 3	cimento tipo III ASTM	1 : 2 : 3	cimento tipo I ASTM
Agr. graúdo	granito natural D_{\max} 2,54	Agr. graúdo	granito natural D_{\max} 2,54
Agr. miúdo	areia de Ottawa [ASTM -C-109]	Agr. miúdo	pó de pedra granito britado
Concreto reciclado		Concreto reciclado	
1 : 2 : 3	cimento tipo III ASTM	1 : 2 : 3	cimento tipo I ASTM
Agr. graúdo	concreto britado D_{\max} 2,54 (a/c = 0,50) - 2 anos	Agr. graúdo	concreto britado D_{\max} 2,54 (a/c = 0,50) - 2 anos
Agr. miúdo	areia de Ottawa [ASTM -C-109]	Agr. miúdo	pó de pedra granito britado

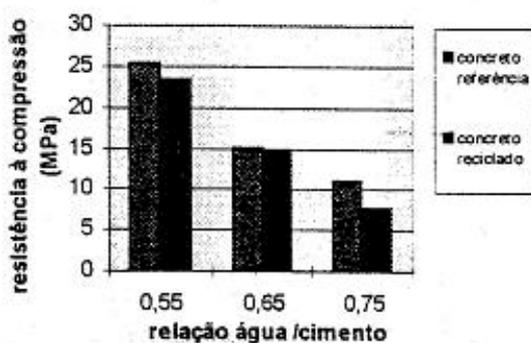


Fig III-3 Resistência à compressão x A/c, cimento tipo III

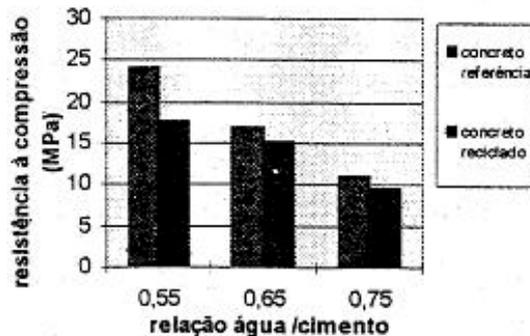


Fig III-4 Resistência à compressão x a/c, cimento tipo I

A explicação para este fato seria a de que o grau de absorção de água do pó de pedra é tão elevado quanto o da fração do entulho reciclado com $D_{\max} < 2,0$ mm, portanto o concreto de referência, quando preparado com pó de pedra como agregado miúdo teria comportamento similar ao do concreto preparado com material reciclado.

RAVINDRARAJAH E TAM [1985] elaboraram um trabalho para estudar a influência da qualidade do agregado reciclado na resistência do concreto. Para realização deste trabalho os autores prepararam 3 (três) concretos com a/c = 0,51; 0,60 e 0,73, os quais após a cura foram britados em laboratório, dando origem a 3 (três) agregados de diferentes qualidades, utilizados na elaboração de nove misturas cujos resultados são indicados na Tabela III-6 e na Figura III-5, com base nestes resultados, os autores concluíram que a influência da qualidade dos agregados nas propriedades do concreto foi insignificante.

Como era de se esperar, os resultados indicam que a influência da relação a/c no desenvolvimento da resistência do concreto é maior do que a qualidade do material reciclado utilizado.

Tabela III-6 Variação da resistência à compressão em função da qualidade do agregado reciclado [RAVINDRARAJAH E TAM - 1985]

Tipo de concreto	Resistência à compressão (MPa)	a/c	(Traço em massa)		
			Quantidade de material em kg		
			Cimento	Miúdo	Grão
A	16,3	0,50	(1)	(2,17)	(2,65)
A/A	13,0		373	815	995
A/M	11,0		(1)	(2,04)	(2,12)
A/B	12,0		410	835	870
M	17,5	0,60	(1)	(2,81)	(3,11)
M/A	22,0		440	885	980
M/B	25,5		(1)	(2,82)	(2,41)
M/B	22,5		340	960	820
B	20,0	0,75	(1)	(3,85)	(3,56)
B/A	18,5		260	1000	925
B/M	20,5		(1)	(3,87)	(2,85)
B/B	19,5		275	1065	785

Observações:

A ⇒ concreto de alta resistência a/c = 0,50

M ⇒ concreto de resistência média a/c = 0,60

B ⇒ concreto de resistência baixa a/c = 0,75

Quando foram utilizadas duas letras para simbolizar o concreto a primeira refere-se à resistência do concreto que está sendo produzido, a segunda ao tipo de agregado reciclado empregado na produção de concreto novo: A, M ou B.

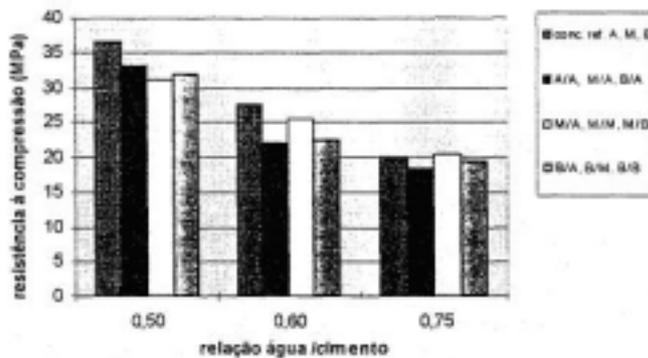


Figura III-5 Resistência à compressão em função da qualidade do agregado reciclado [RAVINDRARAJAH E TAM – 1985]

AKHTARUZZAMAN E HASNAT [1983] realizaram uma pesquisa para estudar as propriedades mecânicas e físicas de concretos, produzidos com agregados reciclados de alvenaria e para isto utilizaram agregados graúdos com $D_{máx} = 19$ mm, provenientes de blocos cerâmicos bem queimados e britados manualmente, os agregados utilizados estão indicados na Tabela III-7. Na Tabela III-8 e na Figura III-6, apresentam-se os traços e a resistência à compressão dos concretos ensaiados.

Tabela III-7 Propriedades físicas dos agregados, tijolos britados e areia utilizada por [AKHTARUZZAMAN E HASNAT, 1998]

Propriedades	Tijolo britado	Areia natural
Módulo de finura	6,91	2,30
Massa unitária (alta superfície seca) kg/m ³	953	1465
Massa unitária (compactada superfície seca) kg/m ³	1017	1642
Absorção de água em massa (%)	11,20	3,10

Tabela III-8 Concretos com agregado de tijolo britado [AKHTARUZZAMAN E HASNAT- 1996]

Série	agregados saturados Traço em massa superfície seca	Relação a/c	f_{c28} (MPa)	Consumo /m ³		
				Cimento (kg)	Agregados secos e soltos	
					Areia (kg)	Tijolo britado (kg)
A	1: 1,60: 2,90	0,54	38,0	334	520	872
B	1: 1,80: 3,40	0,61	30,2	288	526	882
C	1: 2,15: 3,90	0,70	25,0	256	537	900
D	1: 2,73: 4,94	0,88	16,4	202	534	896

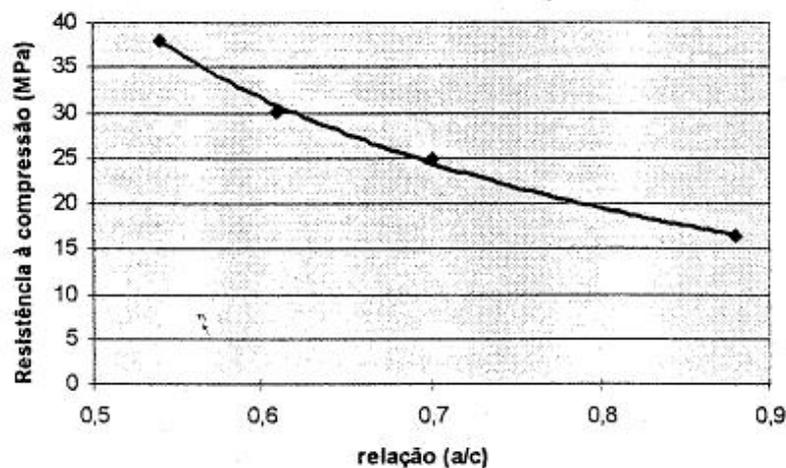


Figura III-6 Resistência à compressão de concretos com agregados de alvenaria [AKHTARUZZAMAN E HASNAT- 1996].

Como neste trabalho os autores não mencionaram o valor da consistência, adotada torna-se difícil interpretar os resultados obtidos, pois não é possível saber se estamos comparando concretos da mesma família ou não.

Em contrapartida ao trabalho realizado por RAVINDRARAJAH E TAM [1985] no qual os autores constataram que a influência da qualidade dos agregados reciclados na resistência à compressão era mínima, G.Di NIRO [1996] elaborou um trabalho em que constatou que, para baixas relações a/c, a influência que pequenas quantidades de material reciclado exercem na resistência à compressão é elevada; o autor afirma não ter conseguido suplantiar a marca de 35 MPa para resistência à compressão utilizando concretos com agregados reciclados e a/c = 0,35; no entanto o concreto de referência produzido com agregados naturais e a mesma relação a/c apresentou resistência de 60 MPa.

Na Tabela III-8 e na Figura III-7 apresenta-se os resultados obtidos para a relação a/c = 0,45.

Tabela III-8 Variação da resistência à compressão em função do teor de material reciclado [G Di Niro-1996] $a/c = 0,45$

Agregado	Relação a/c	Consumo (kg)	Água (lt)	Agregado reciclado	Agregado natural	$f_{cj,7}$ MPa	$f_{cj,28}$ MPa
40 TR2	0,45	420	190	1750	0 (0%)	22.8	30.8
40RN2	0,45	420	190	1593	158 (9%)	21.4	29.6
40RN3	0,45	420	190	1400	350 (20%)	20.1	28.1
40TN2	0,45	356	160	0	1909 (100%)	30.3	45.0

40 resistência de dosagem 40 MPa

TN agregado totalmente natural

TR. agregado totalmente reciclado

RN agregado reciclado e natural

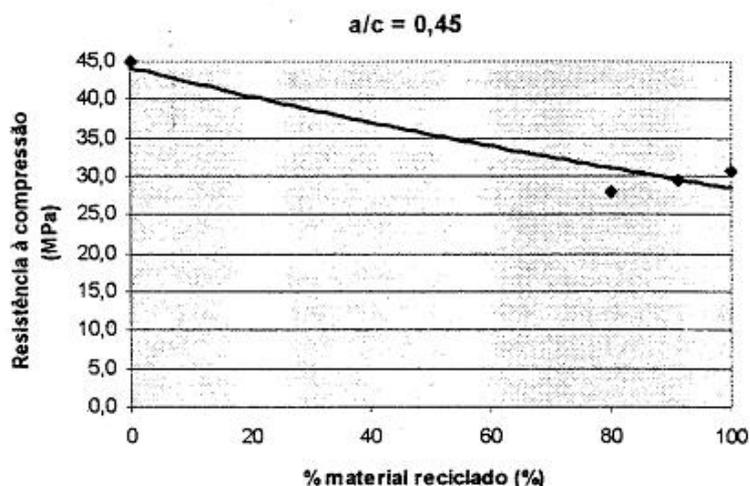


Figura III-7 Resistência à compressão x teor de material reciclado [G. Di NIRO- 1996]

O fato de que para baixas relações a/c a resistência à compressão é muito afetada quando se utiliza material reciclado, pode ser explicado pela elevada absorção de água deste material que acaba retirando a água que deveria ser utilizada na reação de hidratação do cimento, quando a relação água/cimento for elevada, os agregados terminam por se saturar e ainda existirá uma quantidade de água além da necessária para reação de hidratação, reduzindo a resistência à compressão, tanto nos concretos convencionais com agregados naturais como naqueles com agregados reciclados.

TAVAKOLIE SOROUSHIAN [1996] elaboraram uma pesquisa com o objetivo de relacionar propriedades mecânicas de concretos preparados com agregados reciclados a concretos preparados com agregados naturais, neste trabalho avaliaram uma variável poucas vezes analisada, que foi o tempo de mistura a seco dos agregados graúdos reciclados, ou seja o tempo durante o qual estes agregados foram previamente misturados na betoneira antes da adição da água, do cimento e dos agregados miúdos.

Os principais resultados e as características dos concretos ensaiados são apresentados a seguir na Figura III-8. Nas conclusões do trabalho os autores afirmam:

- quando a resistência à compressão do concreto original que está sendo reciclado for mais elevada, que a da mistura de referência, então o concreto com material reciclado poderá atingir resistência mais elevada do que o concreto de referência.

- a qualidade do concreto original aparentemente será um fator limitante na qualidade do concreto reciclado. Entretanto, devido a efeitos mais complexos e aos diferentes graus de interação das variáveis envolvidas no processo de produção de um concreto, dificilmente será possível prever seu comportamento sem um estudo específico.

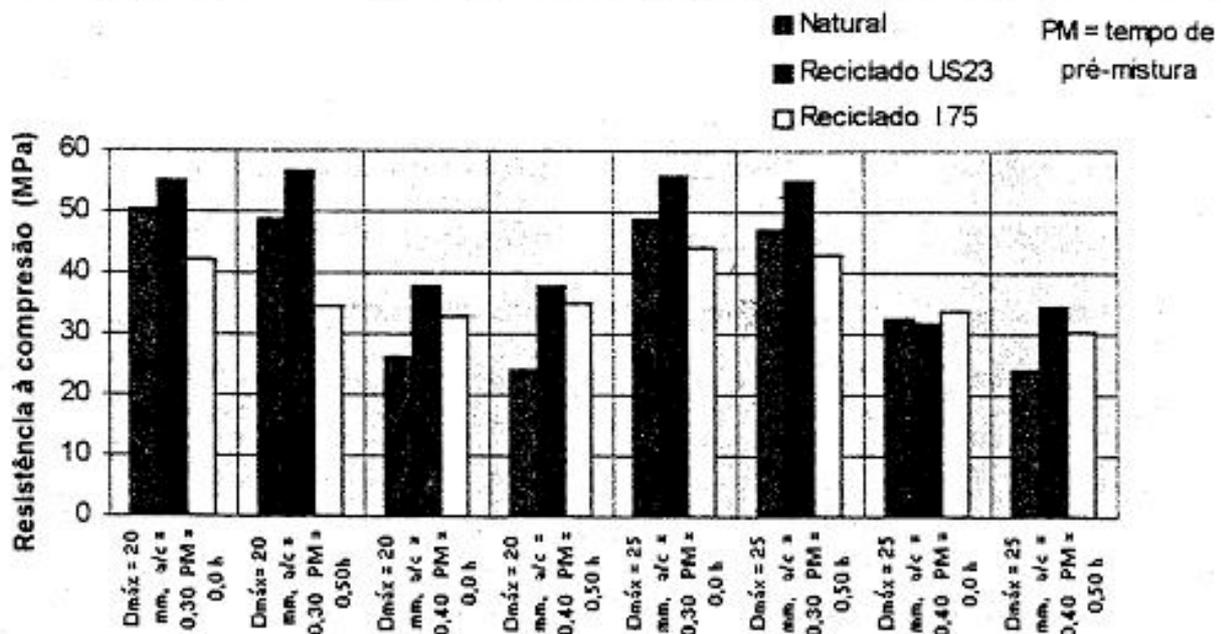


Figura III-8 Resistência à compressão [TAVAKOLI E SOROUSHIAN – 1996]

As conclusões deste trabalho, são opostas às do trabalho de RAVINDRARAJAH E TAM [1985] cujos resultados permitiram aos autores concluir que a influência da qualidade dos agregados reciclados na qualidade do concreto era insignificante, embora segundo TAVAKOLI E SOROUSHIAN [1996] o fenômeno seja mais complexo e necessite de um estudo particular para cada caso.

RASHEEDUZZAFAR E KHAN - [1984] também elaboraram uma pesquisa cujo objetivo era determinar a viabilidade da utilização do entulho de construção civil como fonte de matéria prima para produção de agregados graúdos; para isto, utilizaram como entulho resíduos de construção civil existentes na região do Oriente Médio.

Com estes agregados graúdos e areia local bastante fina com características de areia de praia, produziram diversos concretos alterando a relação água/cimento, os resultados obtidos e as características dos concretos utilizados são apresentados a seguir na Tabela III-9.

Tabela III-9 Resistência à compressão [RASHEEDUZZAFAR E KHAN -1984]

Consumo de cimento	Relação a/c	Abatimento [mm]		Resistência à compressão	
		Reciclado	Convencional	Reciclado	Convencional
445	0,35	0	0	35,0	49,0
445	0,40	61	13	34,0	39,8
445	0,45	171	63	30,9	35,0
445	0,55	-	-	23,5	23,5
445	0,60	-	-	20,0	20,2

Os autores tentaram obter concretos de alta resistência, com $f_{ck\ 28} \geq 40$ MPa com agregados reciclados graúdos procedentes de concretos de resistência = 23 MPa.

A partir dos resultados deste trabalho, concluíram que a resistência dos concretos com agregados reciclados é inferior à resistência do concreto de referência preparado com a mesma relação água cimento e com agregados naturais, quando a resistência do concreto de referência excede a resistência do concreto original britado (23 MPa) que deu origem aos agregados.

Para relações $a/c < 0,40$ não foi constatada pelos autores acréscimo de resistência à compressão nos concretos com agregados reciclados.

Quando os concretos de referência foram preparados com relações a/c 0,55 acima e a resistência foi ≤ 23 MPa, os autores não constataram qualquer diferença significativa entre os concretos de agregados reciclados e os de referência conforme indicado na Figura III-9.

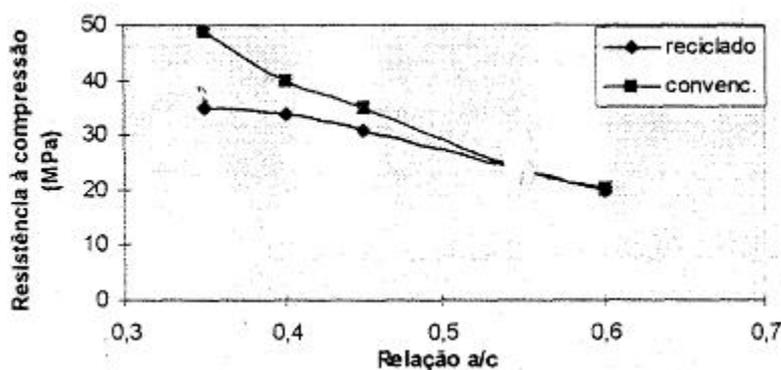


Figura III-9 Resistência à compressão de concretos reciclados x concretos convencionais [RASHEEDUZZAFAR E KHAN – 1984]

Estes resultados são explicados por RASHEEDUZZAFAR E KHAN -[1984] com base em fotografias obtidas por micrografia das fraturas dos concretos ensaiados. Segundo os autores quando a resistência do concreto de referência com agregados convencionais for maior que a resistência do concreto que deu origem aos agregados, a resistência da nova argamassa e a aderência entre a nova argamassa e o agregado será maior no concreto com agregados reciclados do que no concreto original de forma que o ponto fraco do conjunto será o agregado reciclado. Em caso contrário, quando a resistência do concreto de referência for inferior à do concreto original a resistência da nova argamassa e a aderência entre a nova argamassa e o agregado reciclado serão menores e, conseqüentemente, o ponto fraco do sistema.

A restrição que deve ser levantada a esta pesquisa refere-se ao fato dos autores não terem analisado somente uma família de concretos, pois como pode ser visto, variaram a relação a/c , a consistência e só mantiveram constantes o consumo de cimento e a relação em massa entre agregado graúdo e agregado total.

3-1-2-2 Resistência e tração por compressão diametral e na flexão

Nesta seção, comparam-se os resultados encontrados por diversos pesquisadores que estudaram esta propriedade.

Embora pesquisas realizadas pela B.C.S.J.[1978]; por MUKAI et. al.-[1978]; por COQUILLAT -[1982] e por RAVINDRARAJAH [1985] citam o fato de não haver diferença significativa entre os valores da resistência à tração de concretos produzidos com agregados reciclados e concretos produzidos com agregados convencionais; também GERARDU E

HENDERIKS [1985] estudaram o desenvolvimento da resistência à tração para concretos com agregados reciclados e concluíram que a diferença entre eles e os concretos de referência eram inferiores a 10% quando material reciclado era só agregado graúdo e 20 % quando todos os agregados eram de materiais reciclados.

Posteriormente, RAVINDRARAJAH et. al.-[1987] estudaram a resistência à tração por compressão diametral e na flexão utilizando os concretos indicados na Tabela III-3 e obtiveram os resultados apresentados na Figura III-10 chegando à conclusão de que a resistência à tração determinada por compressão diametral ou por flexão apresenta uma redução em média de 10% em relação ao concreto de referência, preparado com agregados convencionais.

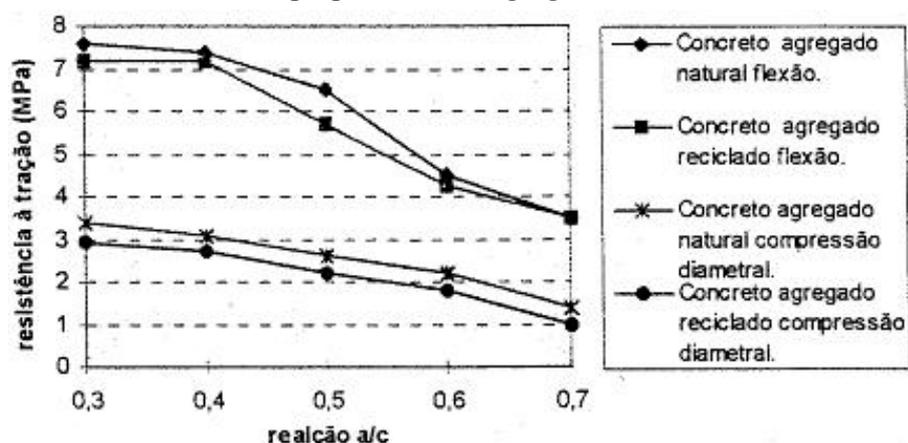


Figura III-10 Resistência à tração na flexão e na compressão diametral x relação a/c

Os valores encontrados por KAWAMURA E TORII [1988] foram praticamente os mesmos para os concretos com agregados convencionais e os concretos com agregados reciclados e, neste estudo, a resistência à tração na ruptura por flexão os valores encontrados para concretos preparados com agregados miúdos naturais e graúdos reciclados, foram mais elevados do que os concretos de referência com agregados exclusivamente naturais.

Segundo os autores, através da inspeção visual da superfície fraturada, percebe-se que as várias fissuras no concreto com agregados naturais ocorre ao longo da interface entre a argamassa e grãos dos agregados, enquanto que no concreto com agregado reciclado, as fissuras se desenvolvem no interior da argamassa original aderida a superfície dos grãos dos agregados reciclados. Pelo fato de ser maior a resistência à fadiga no concreto com agregado reciclado, pode-se concluir que a aderência entre a nova argamassa e os agregados reciclados é maior do que a argamassa e o agregado convencional.

A divergência entre os resultados encontrados pelos diversos pesquisadores pode ser atribuída à diferença de qualidade entre os materiais utilizados ou, como acontece na grande maioria dos trabalhos analisados, os pesquisadores ou fixam variáveis dependentes como o consumo de cimento ou fixam uma só variável como a relação água/cimento não se preocupando em fixar a consistência, assim suas conclusões baseiam-se sobre, resultados nem sempre comparáveis.

3-1-2-3 Módulo de elasticidade

Dentre os trabalhos pesquisados, foram selecionados aqueles cujos resultados e conclusões são mais expressivos para o estudo do módulo de elasticidade. Em linhas gerais, os concretos com agregados reciclados sempre são mais elásticos do que os concretos com agregados naturais, fato que pode ser atribuído à grande quantidade de argamassa original aderida à superfície dos agregados reciclados.

Segundo YANNAS [1977] que em sua pesquisa também estudou o módulo de elasticidade de concretos com agregados reciclados, concluiu que estes apresentavam módulo inferior de 10 a 40% aos concretos preparados só com agregados naturais. As características dos concretos utilizados já foram indicados na Tabela III-5 e os resultados obtidos por ela estão indicados graficamente na Figura III-11 e na Figura III-12.

Figura III-11

Figura III-11 Módulo de elasticidade [YANNAS – 1997] cimento tipo III

Figura III-12

Figura III-12 Módulo de elasticidade [YANNAS – 1997] cimento tipo I

Já no estudo elaborado por [KAKIZAKI et al-1988]^{135f} os resultados obtidos indicam que concretos executados com material reciclado apresentaram o módulo de elasticidade inferior em 25 a 40% ao dos concretos de referência preparados com agregados convencionais.

Pelos resultados apresentados por RAVINDRARAJAH et. al. [1987] a diferença existente entre o módulo de elasticidade de concretos preparados com agregados naturais e reciclados cresce em função da resistência à compressão dos concretos ensaiados como é mostrado na Figura III-13, para medidas obtidas em corpos de prova cúbicos.

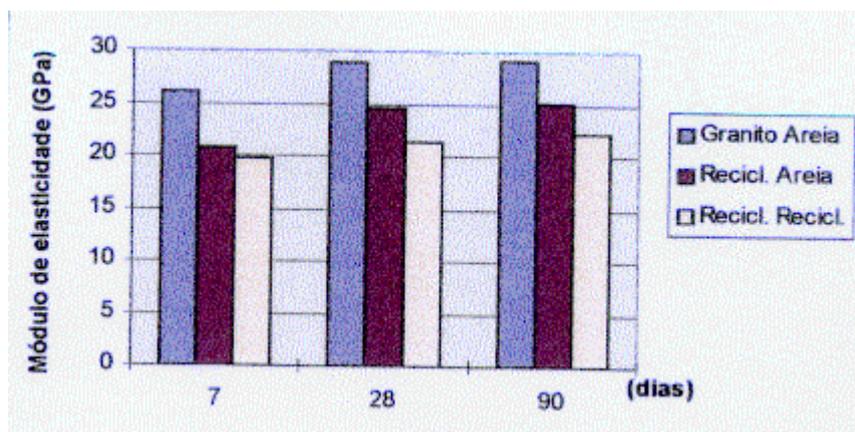


Figura III-13 Módulo de elasticidade [RAVINDRARAJAH et. al.- 1987]

RASHEEDUZZAFAR E KHAN [1984] praticamente não encontraram diferenças entre o módulo de elasticidade dos concretos preparados com agregados grãos reciclados e areia fina e o dos concretos preparados com agregados grãos de rocha calcária e areia fina como está indicado na Figura III-14.

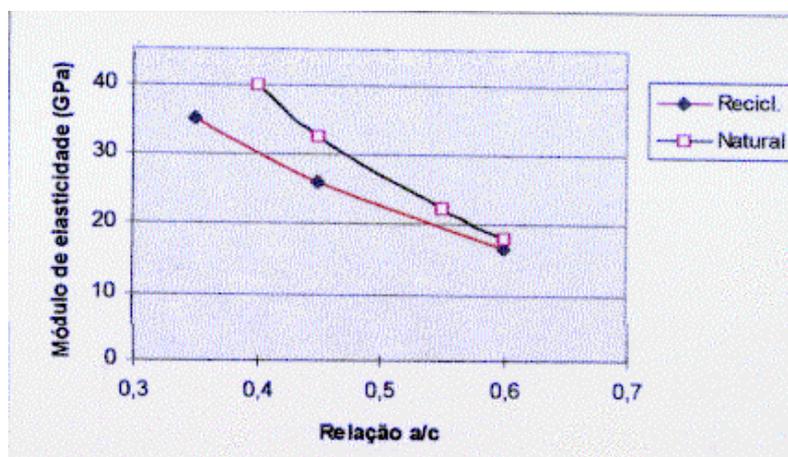


Figura III- 14 Módulo de elasticidade [RASHEEDUZZAFAR E KHAN – 1984]

ZAGURSKIJ E ZHADANOVSKIJ [1983]; e a B.C.S.J. [1978] concluíram que o módulo de elasticidade de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados e areia natural foi de 10 a 30 % inferior ao concreto de referência. Quando o concreto ensaiado foi produzido com a totalidade dos agregados reciclados, a diferença encontrada entre módulos de elasticidade elevou-se para a faixa de 25 a 40%. Os resultados alcançados pelos japoneses estão indicados na Figura III-15.

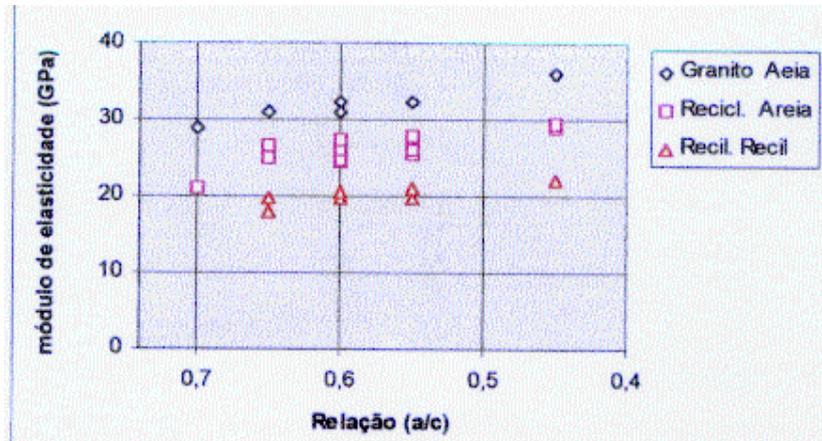


Figura III-15 Módulo de elasticidade [B.C.S.J. – 1978]

3-1-2-4 Deformação lenta

WESCHE E SCHULZ [1982] estudaram a deformação lenta ocorrida em 2 (dois) concretos produzidos com agregados reciclados e areia natural; os dados que obtiveram indicam que os concretos produzidos com agregados reciclados em média deformam-se 50% mais ao longo do tempo do que os concretos de referência produzidos exclusivamente com agregados naturais, conforme é mostrado na Figura III-16 a seguir.

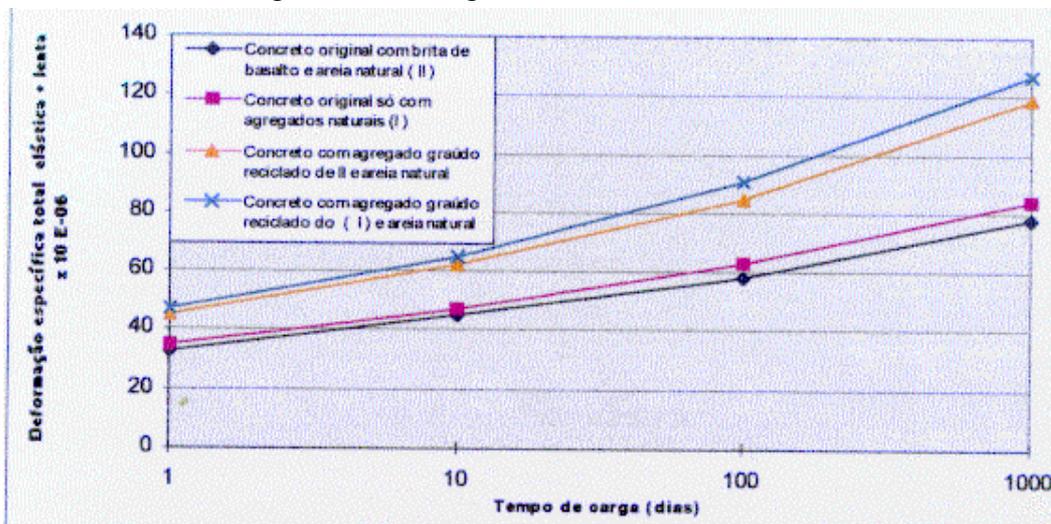


Figura III-16 Deformação específica em função do tempo de carga [WESCHE E SCHULZ -1982].

Como já foi visto na Tabela II 10 e na Tabela II 11, na superfície dos agregados reciclados existe cerca de 50% de argamassa original aderida. Como esta argamassa sempre mais deformável que o agregado natural, quando forem produzidos concretos com agregados reciclados, estes serão mais deformáveis que os concretos de referência produzidos exclusivamente com agregados naturais.

A seguir apresenta-se alguns resultados obtidos por pesquisadores que realizaram trabalhos cujo objetivo era estudar, entre outras propriedades, a deformação dos concretos produzidos com agregados reciclados.

Segundo GERARDU E HENDRIKS [1985] que produziram em laboratório concretos com agregados reciclados, as deformações apresentadas por estes concretos foram 40% maiores do que as deformações apresentadas pelos concretos de referência, produzidos com agregados naturais.

RAVINDRARAJAH E TAM [1985] em seu trabalho, encontraram os resultados apresentados na Tabela III-10, que confirmam os resultados anteriores, pois como se vê as deformações específicas, dos concretos reciclados foram 30 a 60% maiores do que as do concreto de referência.

Tabela III-10 Comparação entre deformações de concretos reciclados e convencionais [RAVINDRARAJAH E TAM-1985]

Concretos	Tensão aplicada*	Deformação unitária	Deformação específica
A	8,5	120	14,1
AB	7,5	165	22,0
M	7,5	135	18,0
MM	6,0	175	29,2
B	5,7	200	35,1
BA	4,9	230	46,9

* 25% da carga de ruptura aos 28 dias.

+ Valores determinados após 56 dias de carregamento

NISHIBAYASHI E YAMURA [1988] constataram que a deformação específica do concreto com agregados reciclados era superior a dos concretos com agregados convencionais, os dados foram medidas por um período de 250 a 300 dias após o carregamento. A partir dessa idade a relação entre as deformações unitárias de ambos os concretos gradualmente tomou-se menor, mesmo com o passar do tempo. A deformação unitária cresceu consideravelmente em função do crescimento da relação água/cimento, porém, a diferença entre a deformação lenta para ambos os concretos permanece praticamente constante qualquer que seja a intensidade do carregamento e qualquer que seja a relação água/cimento adotada.

3-1-2-5 Retração por secagem

Para estudar a retração por secagem selecionou-se alguns trabalhos cujos principais resultados são apresentados a seguir:

RAVINDRARAJAH- et. al. [1987] ao estudarem esta propriedade, concluíram que concretos preparados com agregados graúdos reciclados, aos 90 (noventa) dias apresentavam retração por secagem 50% maior do que a apresentada por concretos preparados com agregados convencionais.

Quando os concretos foram preparados com ambos os agregados reciclados, o valor encontrado para retração por secagem foi 100% maior do que os valores encontrados para os concretos de referência preparados com agregados convencionais conforme mostrado na Figura III-17.

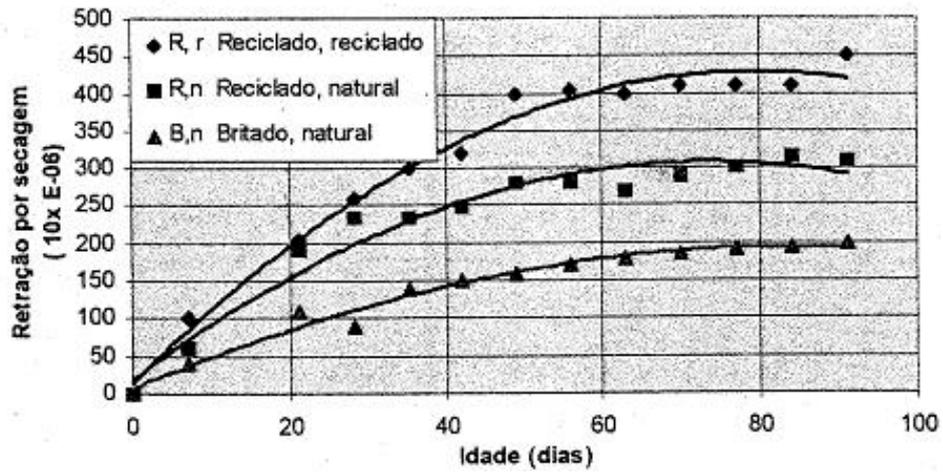


Figura III- 17 Retração por secagem em função da idade [RAVINDRARAJAH- et. al. 1987]²

² A primeira letra do concreto refere-se ao agregado graúdo, a segunda ao miúdo

Outros autores como PUCKMAN E HENRICHSEN [1988]; MARILON [1988] e YAMURA [1988] encontraram resultados que confirmam ser maior a retração nos concretos com agregados reciclados do que a dos concretos com agregados naturais.

O CUR [1986] encontrou valores que oscilaram entre 35 e 55 % quando comparados a retração por secagem de concretos preparados com agregados reciclados com a dos concretos de referência com 25 e 50 MPa respectivamente.

HANSEN E BOEGH [1985] prepararam 3 (três) concretos, um denominado **A** de alta resistência ($a/c = 0,40$), outro denominado **M** de média resistência ($a/c = 0,70$) e outro, denominado **B** de baixa resistência ($a/c= 1,20$) todos com os mesmos agregados naturais, curados submersos a temperatura de 40T. Após 47 dias foram britados em laboratório rum britador de mandíbulas; os produtos de britagem foram peneirados e separados em 3(três) categorias de agregados A, M, B, com granulometria similar à dos agregados naturais.

Com estes 3 (três) tipos de agregados, os autores prepararam novamente os três concretos: de alta resistência, média resistência e baixa resistência, chegando assim a nove misturas as quais foram curadas a 25°C em condições de umidade relativa de 40% durante 440 dias. Neste período, foi monitorada a retração por secagem, estando os valores obtidos, apresentados na Tabela III-11.

Tabela III-11 Retração por secagem para concretos originais e com agregados reciclados aos 440 dias a 25 °C e 40% U.R. - [HANSEN E BOEGH- 1985]

	A	A/A*	A/M	A/B	M	M/A	M/M	M/B	B	B/A	B/M	BB
retração por secagem total x 10 ⁻⁴	4.0	6.4	6.0	5.8	4.3	6.1	6.6	6.3	5.1	7.9	7.0	7.5
Acréscimo em relação a referencia (%)	-	60	50	45	-	42	53	47	-	55	37	47

* Na legenda a primeira letra do concreto refere-se ao agregado graúdo, a segunda ao agregado miúdo.

De acordo com os trabalhos consultados pode-se afirmar que, em média, os resultados encontrados para retração por secagem foram 50% mais elevados do que as misturas de referência, só com agregados graúdos reciclados, e 100% maior no caso das misturas com ambos os agregados reciclados.

A explicação para o fenômeno provavelmente pode ser atribuída ao fato da argamassa aderida à superfície do agregado reciclado ser mais flexível do que o agregado natural e conseqüentemente os agregados reciclados serão mais flexíveis do que os agregados naturais, logo os esforços oriundos da retração, provocarão maior deformação no concreto com agregado reciclado do que no concreto com agregado natural. Deve ser lembrado que em média os agregados reciclados têm 50% de argamassa original aderida à sua superfície.

3-1-3 Produção de concretos com agregados reciclados

Países como a Holanda e o Japão em face de sua condições geológicas, estão realmente preocupados em regulamentar e normalizar a utilização de concretos com agregados reciclados, o código holandês permite sem restrições a utilização de até 20% (vinte por cento) em massa do total dos agregados, seja constituído por agregados reciclados, a proposição japonesa é mais flexível e sugere a utilização de até 30% (trinta por cento) do total dos agregados, limite que teoricamente

não provocaria efeitos deletérios no concreto, todavia, esta proposição ainda não foi oficialmente regulamentada.

Contudo, para produção de concreto, por razões técnicas e econômicas, o ideal será utilizar o material reciclado só como agregado graúdo, e como agregado miúdo areia natural, uma vez que a fração miúda do material reciclado ($D_{máx} < 2,0$ mm) como consequência de sua elevada absorção só contribui para elevar o consumo da água de amassamento, fato que forçosamente levará a uma redução das propriedades mecânicas ou ao elevação do consumo de cimento.

Foi constatado por SCHULZ [1988] e BAGA et. al.[1988] que a trabalhabilidade de um concreto com material reciclado melhora consideravelmente se, antes de produzi-lo, os agregados reciclados forem previamente misturados secos no mínimo por 5 min. na betoneira sem que isso altere suas propriedades no estado endurecido.

A explicação para o fato segundo [HANSSEN-1992] é que a abrasão branda decorrente da pré-mistura, embora não altere sensivelmente a curva granulométrica do material, contribui para que a forma das partículas do agregado se torne mais arredondada permitindo melhor deslocamento relativo entre os grãos da mistura.

Realizando trabalhos experimentais em usinas dosadoras, KASHINO et. al. [1988]

constataram:

- Os traços utilizados para preparo de concreto com agregado graúdo reciclado mantém certa proporção com os traços de concretos produzidos com materiais naturais e a forma pela qual são manipulados é similar.
- O concreto com agregado reciclado poderia ser comercializado da mesma forma que o concreto com agregados naturais.
- A forma de lançamento e de vibração será a mesma qualquer que seja o concreto.

No estudo de dosagem os processos utilizados para determinação do traço será o mesmo independentemente dos agregados utilizados.

Todavia, ainda existem alguns problemas a serem estudados relativos ao armazenamento e estocagem de agregados reciclados que podem solidificar-se.

Segundo a proposta japonesa de normalização para "uso de agregado reciclado e concreto de agregado reciclado" B.C.S.J. [1977], os agregados graúdos reciclados antes de serem utilizados na produção de concreto, deverão ser saturados com superfície seca devido a sua elevada absorção de água. Por esta razão os pátios de estocagem de agregados reciclados deverão dispor de sistemas de "sprinklers" capazes de manter os agregados nesta condição de umidade ideal. Entretanto, sempre existirá, na fração fina do agregado reciclado, alguma quantidade de cimento anidro e de cal hidratada, a qual com o tempo e a umidade exercerão seu efeito aglomerante solidificando a pilha armazenada.

Entretanto HANSEN e NARUD [1983] não compartilham desta opinião, para eles, a quantidade de cimento anidro no material reciclado é ínfima e sua concentração será insuficiente para que o efeito aglomerante desenvolvido possa endurecer a massa granular do material estocado na pilha.

Pesquisadores distintos, opiniões diversas, quem estará com a verdade?

Sabe-se que sempre existirá uma quantidade de cimento anidro em qualquer concreto, todavia, o que deve ser questionado é se a fração fina obtida no processo de britagem do concreto original atingirá um grau de finura tal que permita ao cimento anidro ainda existente no concreto tomar a desenvolver suas propriedades hidráulicas endurecendo a pilha de estocagem do material reciclado.

3-2 Argamassas com material reciclado

Constatou-se que as argamassas com material reciclado são utilizadas, em Israel, na Argentina e no Brasil conforme ilustrado na Figura III-18, Figura III-19, e Figura III-20.



Figura III-18 Exemplo de produção de argamassa com material reciclado em Telavive.



Figura III-19 Exemplo, de produção de argamassa com material reciclado em Buenos Aires.

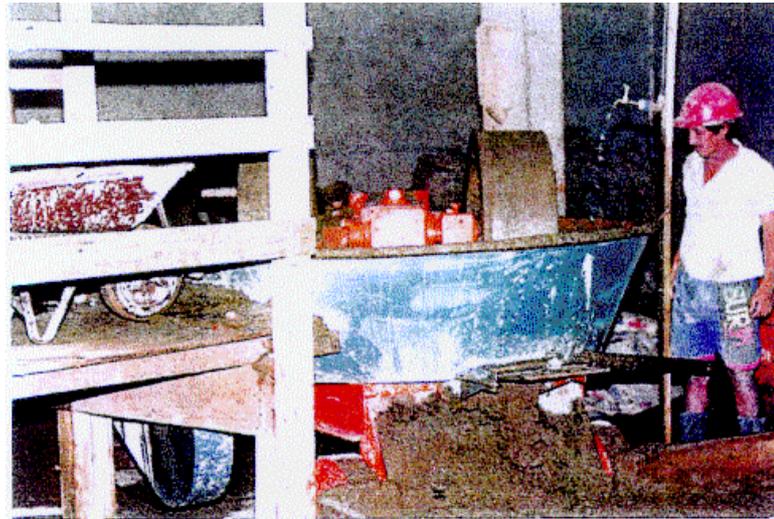


Figura III-20 Exemplo de produção de argamassa com material reciclado em São Paulo.

Poucos trabalhos foram encontrados na literatura que permitissem avaliar o desempenho e a durabilidade desta argamassa ao longo do tempo. Porém, em São Paulo foram localizadas obras concluídas em meados da década de 80, ou seja, com quase 10 (dez) anos de uso e que ainda não apresentam manifestações patológicas, conforme ilustrado na Figura III-22, Figura III-23 e na Figura III-24.



Figura III-21 Revestimento externo de argamassa com material reciclado, obra situada rua Conselheiro Brotero, 1263 - São Paulo. Concluída em 1987



Figura III-22 Revestimento externo de argamassa com material reciclado, obra situada rua Gabriel dos Santos, 423 - São Paulo. Concluída em 1987



Figura III-23 Revestimento externo de argamassa com material reciclado, obra situada Av. Angélica, 1757 - São Paulo. Concluída em 1995.

3-2-1 Propriedades das argamassas no estado fresco

De modo geral as argamassas que contém material reciclado, não apresentam diferenças sensíveis em relação às argamassas mistas convencionais. A seguir, comparam-se resultados encontrados na literatura para os dois tipos de argamassas, convencionais e com material reciclado.

3-2-1-1 Consistência

Segundo LARA [1995] argamassas utilizadas em revestimentos devem apresentar consistência de 280 a 320 mm na mesa de fluidez. Para as argamassas ensaiadas neste trabalho, adotou-se o valor de 310 ± 10 mm que além de, se enquadrar dentro destes limites recomendados, constatou-se experimentalmente que é normalmente utilizado nas obras que empregam este

revestimento, embora outros pesquisadores recomendam valores em torno de 270 ± 10 mm. Neste trabalho constatou-se também que com o acréscimo do teor de materiais cerâmicos será necessário elevar a relação água materiais secos para manter a consistência.

3-2-1-2 Retenção de água

É a propriedade física que mede a capacidade que uma argamassa tem de reter o líquido necessário à sua trabalhabilidade, impedindo que se evapore ou seja absorvido por substrato poroso.

Esta propriedade é obtida através de finos adicionados à argamassa, por exemplo, cal, saibro, ou entulho finamente moído como no caso do presente estudo.

Para as cales comercializadas no Brasil a NBR 7115 estabelece como limite inferior para capacidade de retenção de água 80% (oitenta) por cento, logo e de se esperar que as argamassas preparadas com esta cal, devam apresentar capacidade de retenção de água inferior a 80%.

Segundo um estudo de [Passos Guimarães - 1990]³ para avaliar a capacidade de retenção de água de 14 marcas diferentes de cal existente no mercado apenas duas atenderam ao mínimo estabelecido pela NBR 7115, conforme mostrado na Figura III-24.

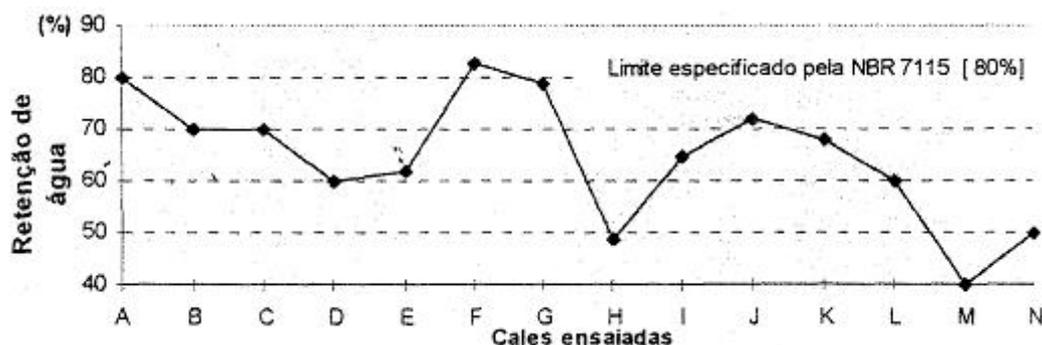


Figura III-24 Retenção de água de 14 cales existentes no mercado brasileiro

Portanto, é de se esperar que as argamassas produzidas com estas cales apresentarão capacidade de retenção de água inferior a 65% embora não seja ideal, é o real que poderá ser obtido com as cales existentes no mercado nacional.

Em contraposição ao grande número de pesquisas localizadas para avaliação de concretos com agregados reciclados, foram localizadas pouquíssimas pesquisas na literatura quando se procurou estudar o desempenho de argamassas com material reciclado.

Na Figura III-25 são apresentados os resultados da capacidade de retenção de água para argamassas com materiais reciclados e materiais, convencionais, estudadas por HAMASSAKI et. al. [1996]; por LEVY & HELENE [1995]. e por. JONH et.al. [1994];

³ Original não localizado, os dados apresentados foram extraídos do artigo de CINCOTTO M. ALBA, Características de cal para argamassas, CONTRUÇÃO São Paulo nº 2224 setembro/90

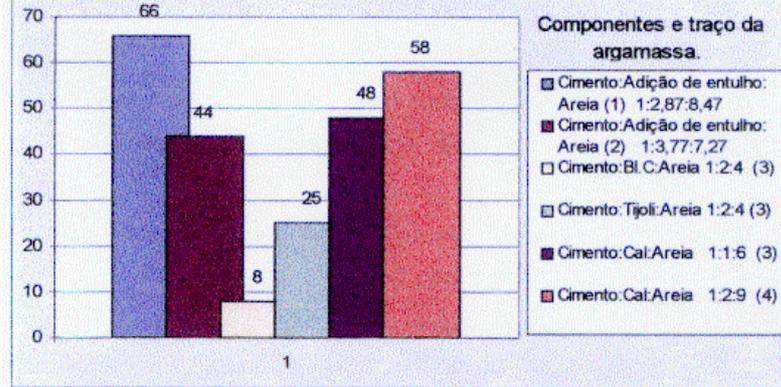


Figura III-25 Capacidade de retenção de água, reciclados x convencionais

(1) e (2) Resultados obtidos por [LEVY e HELENE – 1995]

(3) Resultados obtidos por [HAMASSAKI et. al.-1996].

(4) Resultados obtidos por [JOHN et.al, 1 994] para argamassas convencionais.

É fácil perceber que em termos de capacidade de retenção de água as argamassas com materiais cerâmicos reciclados são equivalentes às argamassas preparadas com materiais convencionais.

Embora haja poucos trabalhos a respeito do tema, mesmo assim, existem divergências quanto aos trabalho de HAMASSAKI et al. [1996], e os resultados obtidos por este autor em pesquisa similar para capacidade, de retenção de água das argamassas produzidas com material reciclado, 8 a 25% contra 44 a 66%, a explicação possivelmente deve ser atribuída à diferença de granulometria dos agregados reciclados utilizados nos trabalhos em questão que apresentaram 10% contra 20% de material passando pela peneira de malha #0,15 mm.

3-2-1-3 Massa unitária

Propriedade que permite avaliar o grau de compactidade de uma argamassa, seu valor é utilizado para cálculo do consumo de cimento de uma argamassa. E interessante chamar a atenção para o fato de que teores mais elevados de materiais cerâmicos finamente moídos embora apresentem menor valor para a massa unitária solta, acabaram permitindo que se produzissem argamassas mais compactas, as quais no estado fresco apresentaram maior massa unitária.

3-2-1-4 Consumo

Outra vez em conseqüência do reduzido número de pesquisas na área, fica prejudicada a comparação de resultados; todavia comparou-se os resultados de argamassa ensaiadas por este autor com os valores das argamassas convencionais equivalentes encontradas na literatura. Aparentemente, parece haver uma redução de 30% no consumo de cimento e é possível eliminar a utilização da cal das argamassas quando se utiliza material reciclado. Uma explicação para este fato poderia ser que os finos presentes no material reciclado desenvolveriam a mesma função dos finos existentes na cal e através de uma reação pozolânica, entre materiais, cerâmicos e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ liberado na hidratação do cimento, estaria ocorrendo o desenvolvimento do potencial aglomerante dos materiais cerâmicos.

3-2-2 Propriedades das argamassas no estado endurecido

Face ao reduzido número de pesquisas realizadas sobre argamassas com material reciclado o presente trabalho só pode abordar algumas propriedades básicas tais como:

- resistência à compressão
- resistência de aderência à tração
- módulo de elasticidade

-impermeabilidade
as quais serão tratadas a seguir.

3-2-2-1 Resistência à compressão

PINTO [1989] realizou um trabalho visando demonstrar a viabilidade da utilização de resíduos minerais de obras (entulho) na produção de argamassas.

Inicialmente, preparou 3(três) categorias de agregados, areia de rio, entulho misto, entulho rico em material cerâmico. Com estes agregados, foram preparadas 12 argamassas diferentes utilizando sempre uma parte de cimento: duas partes de cal: n partes de agregado onde n = 6, 12, 18 ou 24.

A consistência utilizada para preparo das argamassas foi de 230 ± 5 mm, estando os resultados obtidos indicados na Figura III-26. Deve ser observado que, mesmo para os traços 1:2:12, 1:2:18, 1:2:24, as resistências à compressão quando foram utilizados entulho ou materiais cerâmicos como agregado miúdo seriam compatíveis com as necessidades de uma argamassa, todavia só com entulho ou só com material cerâmico reciclado e aglomerantes dificilmente se conseguirá uma argamassa, com plasticidade apropriada e com baixa retração.

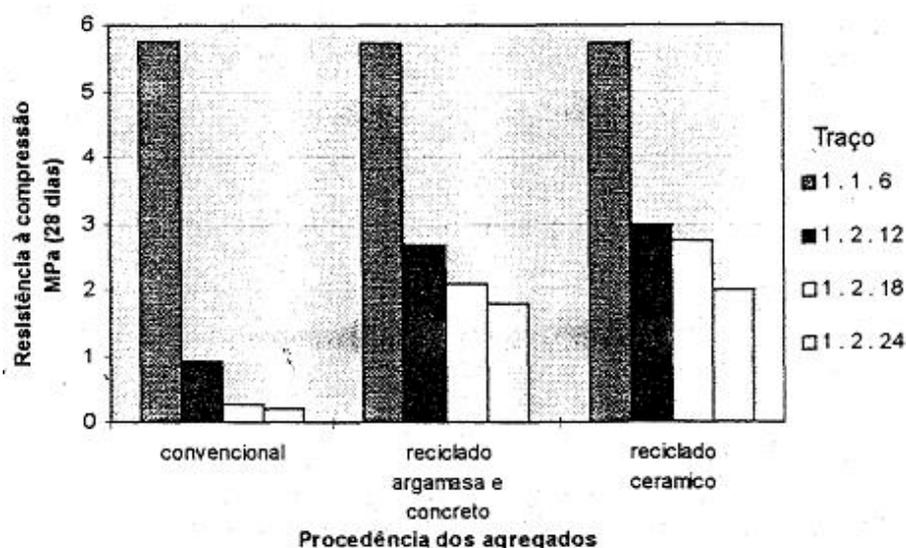


Figura III-26 Resistências à compressão de argamassas [PINTO- 1986]

Este autor elaborou uma pesquisa para estudar qual a contribuição que cada componente do entulho (bloco de concreto, bloco cerâmico, e resíduo de argamassa endurecida) teria no desempenho da nova argamassa, para isso, moeu finamente três componentes que posteriormente no laboratório foram misturados entre si com a finalidade de obter 8 tipos de entulho misturas (M1 a M8) com diferentes teores dos materiais que estavam sendo analisados e assim poder avaliar sua influência no desempenho da argamassa ensaiada; as composições relativas se encontram na Tabela III-12 e os resultados dos ensaios na Figura III-27.

Estes dados indicam um crescimento da resistência à compressão das argamassas em função do teor de materiais cerâmicos na mistura utilizada para seu preparo.

Tabela III-12 Tipo de entulho utilizado para produção de argamassas [LEVY E HELENE -1995].

Mistura	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Bl. Cer.	100	67	50	33	0	0	0	0
Bl. Con	0	0	0	0	0	100	67	50
Argamassa	0	33	50	67	100	0	30	50

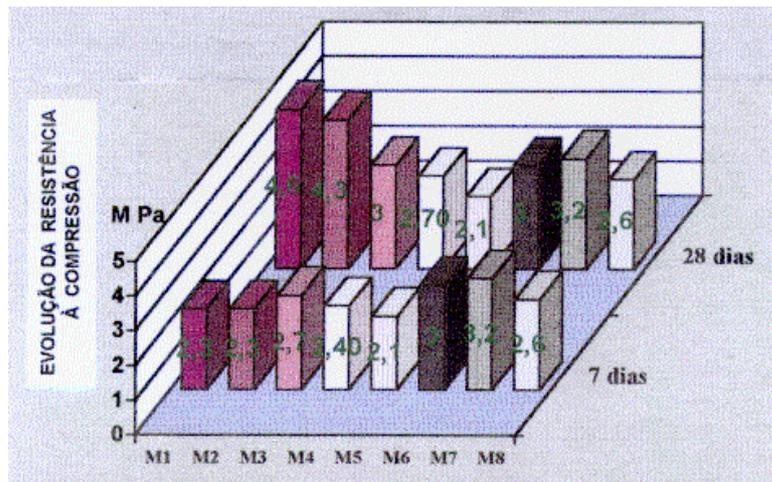


Figura III-27 Resistência à compressão para argamassas com diferentes materiais reciclados [LEVY E BELENE –1995].

HAMASSAKI et. al. [1996] com resíduos de construção civil provenientes da demolição de diferentes paredes, prepararam 3 séries contendo cada uma 0, ½ e 1 parte de cal respectivamente, em cada série utilizaram 7 (sete) tipos de entulho mantendo sempre fixa a relação cimento:agregado na proporção (1:6) em volume e a consistência 250. ± 10 mm, variando apenas a proporção relativa dos agregados.

Os resultados obtidos para as argamassas preparadas com entulho de blocos cerâmicos ou entulho de blocos de concreto foram em média de 4,0 MPa aos 7 dias de idade e de 6,0 MPa aos 28 dias de idade, independente do volume de cal utilizada.

Os resultados obtidos em todos os trabalhos apresentados sempre superam os 2,5 Mpa qualquer que seja a argamassa, portanto, a resistência à compressão dificilmente será um fator limitante para utilização de uma argamassa qualquer que sejam seus componentes.

3-2-2-2 Resistência de aderência à tração

No trabalho realizado por este autor foi determinada a resistência de aderência à tração aos 28 (vinte e oito) dias sobre blocos de concreto e sobre blocos cerâmicos, chapiscados ou não, os resultados encontrados estão na Figura III-28 e na Figura III-29, estes valores para os casos de substratos chapiscados, poderiam ser considerados satisfatórios de acordo com o estabelecido pela norma NBR-CE-2.02.17.004 que estipula a resistência de aderência na tração $\geq 0,25$ MPa aos 28 dias para base de reboco ou pintura.

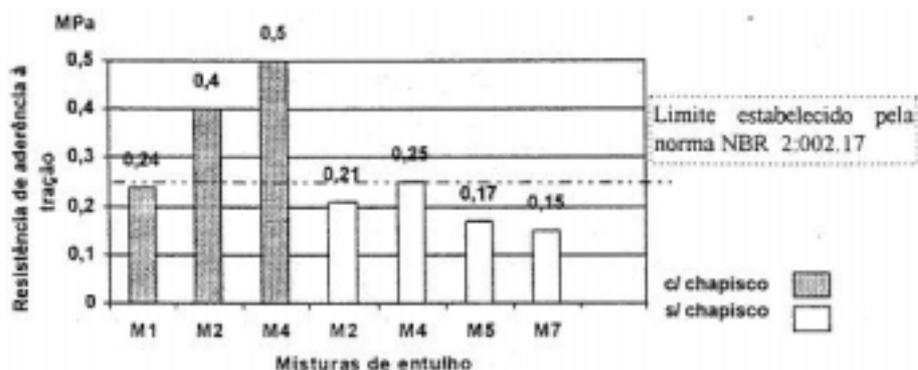


Figura III-28 Resistência de aderência à tração sobre bloco cerâmicos. [LEVY E HELENE-1995]

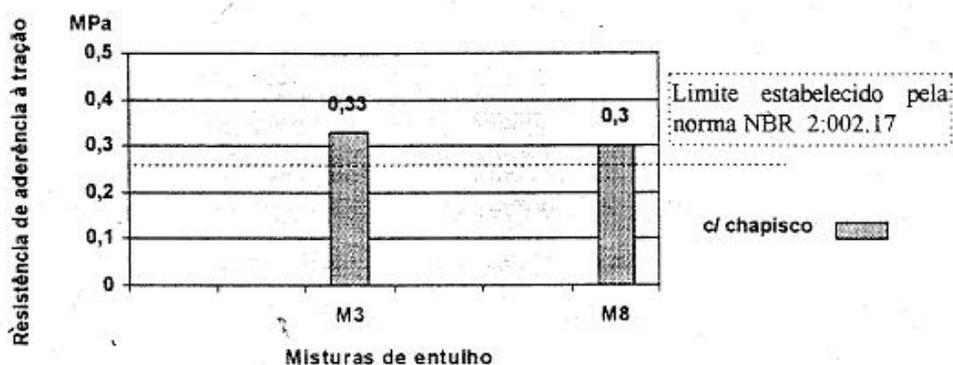


Figura III-29 Resistência de aderência à tração sobre blocos de concretos [LEVY E HELENE-1995]

Quando comparados com trabalhos executados por CARVALHO JR. et. al. [1995] para avaliação do desempenho de argamassas mistas cujos valores são apresentados na Tabela III-13, percebe-se que estes valores são da mesma ordem de grandeza, devendo ser salientado o fato dos ensaios das argamassas com materiais reciclados terem sido realizados aos 28 (vinte e oito) dias, e as argamassas convencionais aos 43 dias.

Tabela III-13 Resultados de resistência de aderência à tração [CARVALHO JR. et al. - 1995]

Traços	Aderência (MPa) aos 43 dias	
	com chapisco	sem chapisco
1	0,34	0,22
2	0,25	0,14
3	0,17	0,10
4	0,10	0,10

Traços utilizados:

- 1 : 5 cal e areia = argamassa de cal
- a) 1 : 8 Cimento e argamassa de cal
- b) 1 : 10 Cimento e argamassa de cal
- c) 1 : 12 Cimento e argamassa de cal
- d) 1 : 15 Cimento e argamassa de cal

3-2-2-3 Módulo de elasticidade

Os valores normalmente encontrados para argamassas mistas produzidas com traços pobres 1:2:9 e 1:2:8, de acordo com FIORITO [1994] são da ordem de 1 GPa aos 28 dias.

Comparando-se os dados obtidos na parte experimental deste trabalho (vide capítulo IV) com os valores citados por FIORITO [1994] para argamassas similares preparadas com agregados convencionais percebe-se que as argamassas com entulho reciclado tem o módulo equivalente ao das argamassas mistas convencionais.

3-2-2-4 Permeabilidade,

A permeabilidade ao vapor de água caracteriza a capacidade de um revestimento permitir a migração do vapor de água através de sua estrutura. No período de chuva o revestimento de argamassas absorve uma certa quantidade de água que é perdida em seguida, em forma de vapor, no período de secagem. O revestimento deve permitir que o vapor de água procedente do interior da base seja normalmente eliminado [CSTB – 1982].

Segundo o CSTB [1990] a permeabilidade ao vapor de água de um revestimento de argamassas depende de sua estrutura interna e de sua porosidade. O ar incorporado geralmente diminui a permeabilidade, pois as micro bolhas de ar têm o papel de criar descontinuidade nos capilares mais finos.

3-2-3 Produção de argamassas com material reciclado

A aplicação comercial atualmente vigente para produção de argamassa com material reciclado se resume a reciclagem do entulho gerado no próprio canteiro. Anteriormente no item 3-2 *Argamassas com material reciclado*, foram citadas como exemplo obras localizadas no Brasil e no exterior as quais utilizam esta tecnologia, conforme ilustrado na Figura III-18 Figura III-19 e na Figura III-20.

3-3 Artefatos de concreto com material reciclado

Nos primeiros anos da década de 90, com a instalação de uma usina de reciclagem em Itatinga, teve início em São Paulo a industrialização de artefatos de concreto com material reciclado.

Como no restante do mundo, a tendência de produzir artefatos de concreto com material reciclado ainda é muito pequena, e só em casos esporádicos, quando existe um fornecimento suficiente e constante de matéria-prima, surge interesse real na reciclagem do entulho de construção, assim aconteceu no caso das cidades européias, destruídas pela II Guerra, no caso da cidade de El ASNAM na Argélia, destruída por intensos terremotos.

A norma alemã DIN. 4163 em apêndice apresenta uma relação de aplicações para concretos compactos e porosos com agregados reciclados de alvenaria britada, segundo WEDLER E HUMMEL [1946] ambos podem ser utilizados em obras convencionais onde o concreto é moldado in-loco ou na produção de elementos pré-moldados.

Ainda segundo a norma alemã DIN. 4163 o concreto de alvenaria britada é especialmente indicado para produção de componentes destinados a isolamento térmica.

3-3-1 Propriedades mecânicas dos artefatos de concreto com material reciclado

As propriedades de um concreto independem de seu modo de aplicação, portanto, o fato de lançá-lo na forma de uma estrutura que está sendo moldada in-loco ou utiliza-lo na produção de elementos pré-moldados não alterará seu desempenho.

Em vista do exposto, não serão analisadas as propriedades já mencionadas no item 3-1 *Concreto com material reciclado*, uma vez que, já foram detalhadamente analisadas e certamente não estarão sujeitas a alterações em função da destinação final da peça a ser obtida.

Todavia, para complementação deste estudo, serão analisados mais alguns trabalhos elaborados especificamente para avaliação do desempenho de elementos pré-moldados produzidos com concretos de agregados reciclados.

3-3-1-1 Resistência à compressão

De acordo com a Figura III-30, será possível determinar a resistência à compressão de briquetes produzidos com agregados convencionais ou reciclados, em função do consumo de cimento.

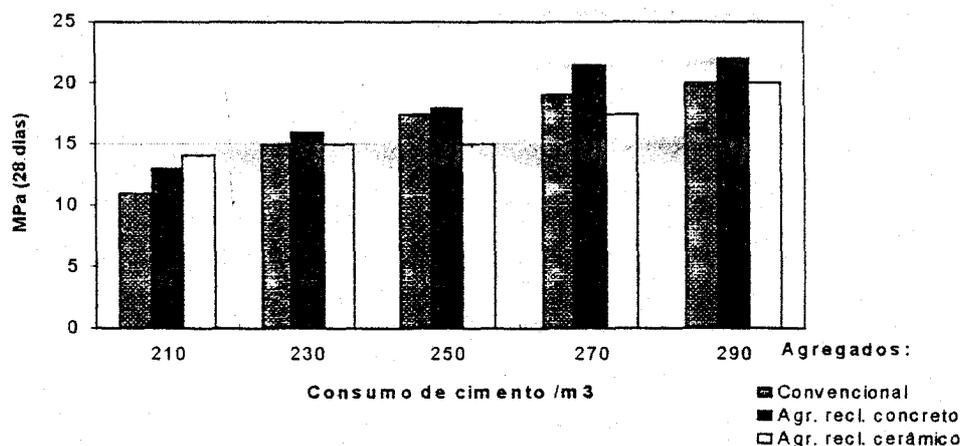


Figura III-30 Resistência à compressão de briquetes com material reciclado em função do teor de cimento utilizado [PINTO- 1992]

Como na maioria dos trabalhos já citados, neste também não há qualquer referência sobre a consistência da mistura utilizada na fórmula do concreto utilizado, para que a análise da Figura III-30 pudesse levar a resultados conclusivos, seria necessário conhecer a relação a/c e a consistência utilizada.

De PAUW [1982] e sua equipe, participaram dos trabalhos de reconstrução da cidade de El ASNAM na Argélia, para isso elaboraram um trabalho que permitiu a escolha do traço ideal com o qual foram produzidos aproximadamente 50 milhões de blocos concreto que consumiram algumas milhares de toneladas de material reciclado, do entulho proveniente das ruínas da cidade, estes blocos, a medida que foram produzidos eram utilizados na construção de conjuntos habitacionais.

Tabela III-14 Resistência à compressão de blocos de concreto com material reciclado
[De PAUW - 1982]

Referencia MPa	serie 1 MPa	serie 2 MPa	serie 3 MPa	serie 4 MPa	serie 5 MPa	serie 6 MPa
3,7	2,2	3,3	2,9	4,1	7,0	2,1

Mais uma vez , o trabalho apresentado não faz menção a consistência da mistura utilizada, portanto não é tarefa simples extrair qualquer conclusão lógica e definitiva.

3-3-1-2 Resistência à tração na flexão

Trabalhos experimentais para produção de telhas a partir de concreto com agregados de alvenaria britada mostraram que para um consumo de cimento de 400 k g/m³ pode ser atingida a resistência à tração na flexão de 3,0 MPa; quando o consumo de cimento foi elevado para 450 k g/m³ nenhum incremento na resistência ocorreu, mas quando o consumo foi elevado para 600 kg/m³, a resistência à tração na flexão chegou a 5,5 MPa. A adição de blocos de concreto moídos não melhoraram a resistência, porém melhoraram a trabalhabilidade. [VOEGLI - 1949].

Segundo SCHULZ e HENDRICKS [1988] a única possibilidade de melhorar as propriedades mecânicas do concreto seria através da adição de materiais cerâmicos ou pelo aumento do consumo de cimento.

3-3-1-3 Desgaste da superfície por abrasão Los Angeles

Esta propriedade, propositadamente, só será abordada neste momento quando estão sendo estudados elementos pré-moldados preparados com agregados reciclados, uma vez que é utilizada para avaliação do desempenho de superfícies submetidas à abrasão; portanto, julgou-se que seria mais pertinente utilizá-la para avaliar o desempenho de briquetes de pavimentação produzidos com entulho reciclado.

PINTO [1992] elaborou um estudo sobre briquetes para revestimento de pisos produzidos com concretos preparados com diferentes agregados, conforme sintetizado na Figura III-31; embora em seu artigo não tenha citado o traço utilizado, acredita-se que tenha sido o mesmo em todos os casos, variando apenas o tipo de agregado, pois não haveria sentido realizar este trabalho partindo de outra hipótese.

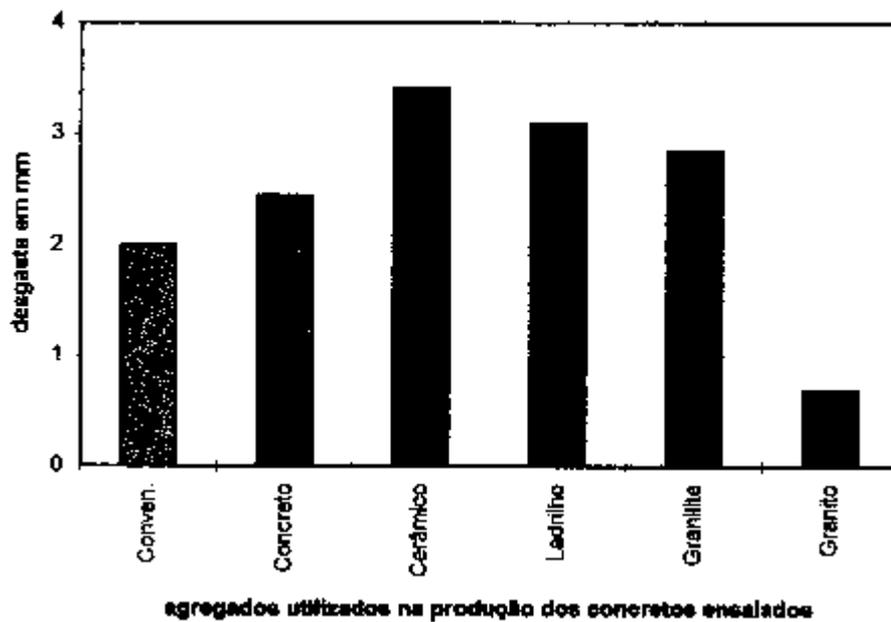


Figura III-31 Desgaste por abrasão Los Angeles para diferentes agregados [PINTO-1992]

Neste capítulo foram estudadas as propriedades dos produtos fabricados com agregados reciclados; através das pesquisas analisadas ficou caracterizada a falta de um trabalho mais abrangente que pudesse conduzir a conclusões definitivas sobre concretos argamassas e artefatos de concreto preparados com material reciclado. Sem a pretensão de preencher esta lacuna e visando, conseguir mais alguns dados, realizou-se um trabalho experimental com a idade de avaliar a influência dos dois componentes mais abundantes no entulho de construção civil no desempenho de argamassas em princípio destinadas a revestimento; o qual é apresentado na íntegra, no capítulo IV a seguir.

Capítulo IV AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM AGREGADOS MIÚDOS DE ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL.

4-1 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

.. 1 .

Visando detalhar a influência que os materiais cerâmicos e argamassas endurecidas exercem sobre as propriedades finais de uma nova argamassa, resolveu-se reproduzir e ensaiar as argamassas utilizadas por algumas construtoras paulistas que normalmente reciclam o entulho mineral no próprio canteiro. Para realização deste estudo, foram misturados apenas os dois materiais presentes em maior quantidade no entulho de construção civil e com eles foram preparadas 4 (misturas) de entulho no laboratório e estas misturas foram adicionadas às argamassas ensaiadas.

¹Foram empregados dois traços, resultando desta forma 8 (oito) argamassas distintas.

4-1-1 Materiais

Os materiais utilizados para elaboração deste experimento foram:

- a) Areia média lavada: foi utilizada uma areia média do rio Tietê, pois este material é de uso largamente difundido nas nossas obras para produção de argamassas.
- b) Cimento Portland Composto Tipo CP II-E-32: foi utilizado este cimento uma vez que é o cimento encontrado com maior facilidade na praça de São Paulo
- c) Componentes presentes no entulho:
 - c-1) Blocos cerâmicos e tijolinhos maciços de diferentes procedências.
 - c-2) Argamassas mistas endurecidas.

4-1-1-1 Coleta e critério de seleção do entulho

Os materiais foram coletados e moídos em construções situadas no Município de São Paulo as quais utilizavam um moinho de rolos que, além de reciclar o entulho gerado no próprio canteiro, produzia as argamassas a serem utilizadas na obra.

Fez-se uma coleta em separado de materiais cerâmicos (classificados em blocos de 1ª linha, de 2ª linha e tijolos maciços) e das sobras de argamassas.

Após a verificação visual da homogeneidade das amostras dos materiais coletados, a fim de evitar a presença de produtos estranhos, os materiais selecionados foram moídos em moinhos tipo ANVI-500 por cerca de trinta minutos, na própria obra, ensacados e encaminhados para secagem em estufa no laboratório do CPqDCC.

Os critérios utilizados para seleção dos componentes do entulho empregados no experimento são apresentados a seguir:

Materiais cerâmicos - das amostras coletadas, foram selecionadas para utilização neste experimento apenas os blocos cerâmicos de 2ª linha, uma vez que apresentaram o grau de

¹ Como já citado no Capítulo 1 deste trabalho, segundo levantamento elaborado por [PINTO – 1989], os componentes mais freqüentes no entulho de construção civil das obras do município de São Carlos foram argamassas endurecidas 64% e materiais cerâmicos 29 %.¹

pozolanicidade desejado² além de serem ainda os mais empregados nos processos construtivos atualmente em vigor na cidade de São Paulo. Vale a pena lembrar que no estado de São Paulo, estes materiais são produzidos com argilas caulinito-iliticas da regido de Itú ou de Mogiguaçu [SANTOS - 1975].

Argamassas mistas - de diferentes obras foram. moídas e misturadas entre si de forma aleatória, após o que guardadas em laboratório por mais de 180 dias para evitar eventual influência de alguma parcela de cimento ainda não hidratada que, finamente moída, pudesse atuar como aglomerante na argamassa recém produzida.

4-1-1-2 Caracterização dos materiais

A granulometria bem como outras características físicas dos componentes utilizados na preparação do entulho reciclado utilizado neste experimento encontra-se indicada a seguir na Tabela IV-1.

Tabela IV-1 Características físicas dos componentes utilizados na preparação do entulho.

Características	Norma	Materiais			
		Cerâmica Moida	Argamassa Moida	Areia	Cimento
Distribuição Granulométrica	NBR 7217/87				
4,8		2	1	2	
2,4		4	12	4	
1,2		10	29	10	
0,6		25	44	35	
0,3		43	57	79	
0,15		66	73	97	
Fundo		100	100	100	
Módulo de finura		1,50	2,16	2,27	
Dimensão Máxima Característica (mm)		2,40	4,80	2,40	
Materiais Pulverulentos (%)	NBR 7218/87	30,4	15,4	-	
Impurezas Orgânicas (ppm)	NBR 7220/87	< 300 ppm	< 300 ppm	< 300 ppm	
Massa Específica (kg/m³)	NBR 9776/87 e NBR 6474/84	2510	2520	2590	3120
Massa Unitária Solta (kg/m³)	NBR 7251/82	1145	1377	1417	1130
Área Específica (m²/kg)	NBR 7224/89	586,4	231,9	-	364,3

² Atividade pozolânica é a capacidade de reação com o CaO apresentada por determinada substância, para que a atividade pozolânica apresentada pela substância seja capaz de contribuir com o aumento de resistência à compressão. Segundo RAVERDI et al (1980), deverá haver um consumo mínimo de 330 mg de CaO/g da amostra no ensaio de Chapelle. Só neste caso o material poderá ser considerado como material pozolânico.

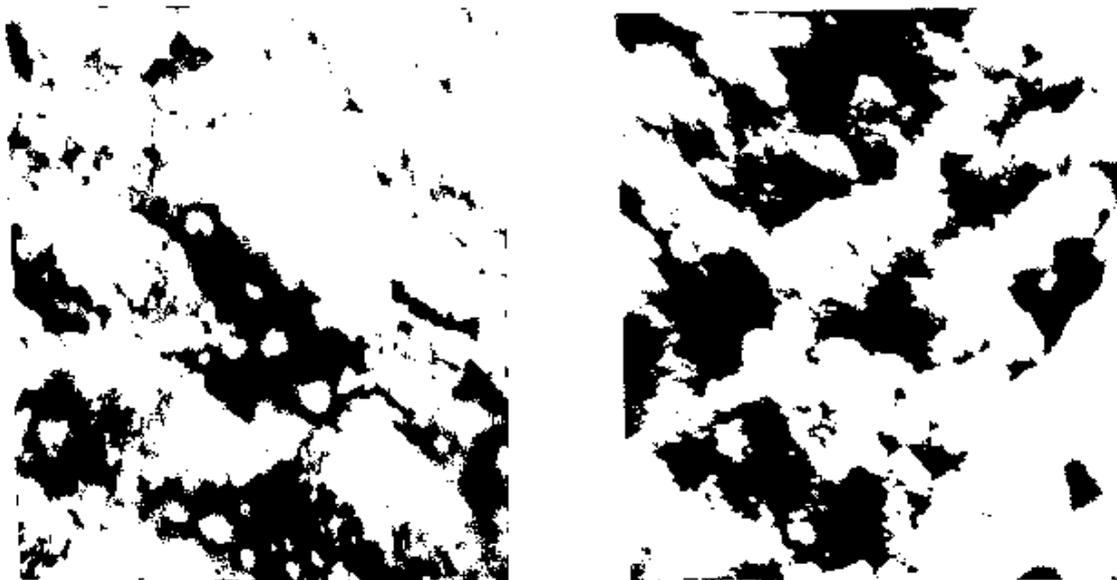


Figura IV-1 Granulometria de argamassas e material cerâmico reciclado vista no estereoscópio óptico, com aumento de 80 vezes.

Os materiais reciclados, componentes utilizados para realização deste experimento, após terem sido moídos por 30 min, foram transportados até o laboratório e guardados durante 180 dias; antes de sua utilização foram secos em estufa A 105°C.

Paralelamente, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT realizou um ensaio para a determinação da atividade pozolânica dos materiais cerâmicos classificados em resíduos de blocos de 1ª linha, de 2ª linha e de tijolinhos maciços.

As características químicas dos materiais empregados para preparação do entulho, bem como a do cimento (CP II-E-32) utilizados na preparação das argamassas ensaiadas estão relacionadas a seguir na Tabela IV-2.

Tabela IV-2 Características do cimento e dos componentes do entulho.

Características e normas de ensaio	Cimento	Cerâmica Vermelha Moída	Argamassa Moída
Perda ao Fogo (%) (NBR 08347/91)	3,1	2,5	7,0
Resíduo Insolúvel (%) (NBR 05744/89)	5,2	99,2	83,2
Atividade Pozolânica- Método Chapelle modificado ³ (mg de CaO/ mg da amostra)			
Blocos cerâmicos de 1a linha	-	242	-
Blocos cerâmicos de 2a linha*	-	454	-
Tijolinhos maciços	-	565	-

*Material utilizado na preparação da adição.

³³ Conforme relatório de ensaio IPT n. 829.785 de 14/set/95.

4 Na nomenclatura adotada, a letra maiúscula representa o material predominante na mistura, cerâmico

Na Tabela IV-3 apresenta-se a massa unitária no estado solto das amostras de entulho preparadas em laboratório.

Tabela IV-3 Massa unitária do entulho (utilizado como adição) preparadas em laboratório.

Adições	Massa unitária solta (kg/m ³)
C (100% cerâmico)	1.145
Ca (66% cerâmico: 34% argamassa)	1.222
cA (34% cerâmico: 66% argamassa)	1.300
A (100% argamassa.)	1.378

4-1-1-3 Composição relativa dos constituintes do entulho

Com a finalidade de obter um entulho representativo gerado nas diversas etapas de uma obra, variou-se a composição relativa de seus componentes de acordo com proporções indicadas na Tabela IV-4 mantendo constantes as demais variáveis para cada argamassa produzida.

Tabela IV-4 Proporção relativa do entulho utilizado como adição, em volume.

Mistura produzidas	Materiais cerâmicos	Argamassas endurecidas
C ⁴	100%	0%
Ca	66%	34%
cA	34%	66%
A	0%	100%

4-1-2 Argamassas

Procurou-se como regra geral manter as mesmas características das argamassas utilizadas em obras; para isso foram utilizados os mesmos traços em volume normalmente empregados pelas construtoras.

4-1-2-1 Escolha do traço

Para agir de acordo com as hipóteses formuladas no item 3-2, foram adotados os traços 1 : 3 : 8 e 1 : 1,5 : 6, em volume, e por cálculos transformados em massa, com a adição das quatro misturas anteriormente preparadas, foram produzidas as 8 (oito) argamassas indicadas na Tabela IV-5.

Tabela IV-5 Correspondência entre o traço em volume e em massa das argamassas ensaiadas

Adição utilizada no preparo das argamassas ensaiadas	Traços em massa (Cimento: Adição de entulho: Areia)	
	traço em volume (1: 3: 8)	traço em volume (1: 1 ³ : 6)
C	1 : 3,04: 10,290	1 : 1.520 : 7.715
Ca	1 : 3.25: 10.290	1 : 1.623 : 7.715
cA	1 : 3.45: 10.290	1 : 1.726 : 7.715
A	1 : 3.66: 10.290	1 : 1.829 : 7.715

4-1-2-2 Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados um total de 264 corpos-de-prova, sendo 96 cilíndricos de 50x100 mm, utilizados para determinação da resistência à compressão, 96 cilíndricos, de 50x100 mm, para determinação do módulo de elasticidade e 72 prismáticos medindo 40x40x160 mm para determinação da resistência à tração na flexão.

4-1-2-3 Métodos de avaliação do desempenho

A seguir estão indicados os métodos utilizados na determinação das propriedades pesquisadas para avaliação do desempenho das argamassas com adição.

Propriedades medidas

As propriedades selecionadas e investigadas neste estudo foram as seguintes:

a) No estado fresco

- *Massa unitária*- medida para permitir o cálculo do consumo de cimento utilizado em cada traço, determinada de acordo com a NBR 7251/82.
- *Retenção de água*- monitorada para avaliar a capacidade que os materiais cerâmicos finamente moídos têm de reter, água de amassamento, foi determinada no funil de Büchner pelo método NBR 9287/86.
- *Consumo*- calculado através da equação $C_{(\text{consumo de cimento})} = \gamma_{\text{Argamassa}} / M_{\text{total}}$
- *Consistência*- medida para constatar se as argamassas ensaiadas foram produzidas de acordo com a hipótese inicialmente adotada 310 ± 10 mm de espalhamento, determinada na mesa de fluidez, de acordo com a norma NBR 7215/81.

b) No estado endurecido

- *Resistência a compressão diametral*- embora não seja a grandeza de maior importância na avaliação do desempenho de argamassas; esta propriedade foi medida para avaliar a influência dos materiais cerâmicos na resistência das argamassas, foram rompidos os corpos-de-prova por compressão diametral, com velocidade de carregamento de 400 kgf / min aos 14, 28, 91 dias, segundo a norma NBR 12041/90 adaptada.
- *Resistência a tração*- esta é uma das propriedades das mais importantes para caracterizar um revestimento, uma vez que a maioria deles está sempre sujeita a esforços de tração. Foram rompidos os corpos de prova por flexão simples aos 14, 28, 91 dias, segundo a norma francesa NF EN 1196-1/ 90 adaptada.
- *Módulo de elasticidade*- conhecido o módulo de elasticidade, é possível prever a capacidade que um revestimento terá de absorver deformações., juntamente com a resistência à tração, esta é uma das mais importantes propriedades quando se analisa o desempenho de um revestimento. Foram rompidos os corpos de prova cilíndricos por compressão diametral, aos 28 e 91 dias, segundo as normas NBR 8522/84 e ASTM - 82 adaptadas. Utilizou-se o módulo secante, calculado a 40% da carga de ruptura.

- Velocidade de carbonatação- medida com utilização de fenoftaleína, esta propriedade permite avaliar se uma argamassa é capaz de conferir alguma proteção adicional a armadura de uma estrutura nos casos de pequeno recobrimento. Os ensaios foram realizados com as metades dos corpos-de-prova prismáticos rompidos no ensaio de flexão, as quais permaneceram expostas ao ambiente do laboratório, as leituras foram executadas aos 7, 14 e 28 dias.

4-2 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos tanto no estado fresco como no estado endurecido são apresentados e comentados a seguir.

4-2-1 Grau de pozolanicidade do material cerâmico

O grau de pozolanicidade dos materiais coletados confirmam os resultados que poderiam se esperar segundo estudo apresentado por CINCOTTO e KAUPATEZ (1988), isto é, apresentaram atividade pozolânica.

Segundo RAVERDI et al., (1980), materiais com potencial aglomerante para apresentarem um incremento de resistência devida a reação pozolânica, devem apresentar um consumo mínimo de 330 mg de CaO/g da amostra; todavia segundo HAMASSAKI et al. (1996), não é este o único fator determinante para explicar a atividade pozolânica; pois esta pode estar influenciada pelo “efeito filler”, ou seja ainda não são suficientemente conhecidos o efeito da granulometria e do teor de finos presentes nas argamassas com materiais reciclados.

Os materiais cerâmicos que apresentam maior grau de pozolanicidade são argilas calcinadas em temperaturas não muito elevadas, tijolinhos e blocos cerâmicos de 2ª linha. Isso é perfeitamente esperado, uma vez que as temperaturas elevadas podem reduzir a sua reatividade, fato pode ser explicado por duas razões

a) A primeira delas seria a temperatura ideal para ativação térmica de uma argila que segundo estudo feito por ZAMPIERI (1993) sobre argilas vermelhas está entre 750 e 850 °C, temperatura encontrada em fornos mais velhos e nas laterais dos pequenos fornos onde são queimados os tijolinhos maciços. É interessante observar que em outro estudo sobre a possibilidade de utilização de material cerâmico em substituição parcial da quantidade de cimento realizado por WILD et al.(1996) para o material cerâmico produzido na região de Oxford, conclui-se que o material cerâmico que apresentou melhor performance foi calcinado por volta de 1000°C.

b) A segunda seria em virtude do resfriamento brusco das peças cerâmicas adotado nas pequenas olarias, tal resfriamento provocará um desarranjo maior na estrutura cristalina da cerâmica tomado-a assim muito mais reativa do que as cerâmicas esfriadas lentamente como nos casos de grandes olarias.

4-2-2 Argamassas no estado fresco

4-2-2-1 Massa unitária

Os valores da massa unitária em função do traço e da adição utilizada estão apresentados na Tabela IV-6.

Tabela IV-6 Valores da massa unitária da argamassa no estado fresco.

TRAÇOS	1: 3: 8				1: 1,5: 6			
	C	Ca	cA	A	C	Ca	cA	A
Massa unitária (kg/m ³)	1903	1880	1867	1852	1939	1930	1911	1876

Embora a massa unitária solta dos materiais cerâmicos seja inferior à massa unitária das argamassas endurecidas, percebe-se que a maior presença de material cerâmico produz argamassas mais compactas, com aumento das massas unitárias.

4-2-2-2 Consumos e consistência

Em laboratório, durante a produção das argamassas, foi adotada a consistência de 310 ± 10 mm; constando da Tabela IV-7 os respectivos consumos de água, e de cimento os quais foram determinados por cálculos.

Tabela IV-7

Da Tabela IV-7, pode, ser observado que as argamassas ensaiadas apresentaram em média a seguinte, composição em massa.

<i>Traço 1:3:8</i>	Cimento	6,85%	<i>Traço 1:1,5:6</i>	Cimento	9,65%
	Adição	22,85%		Adição	16,08%
	Areia	70,30%		Areia	74,27%

Tabela IV-7 Propriedades das argamassas, obtidas para consistência de 310 ± 10 mm.

TRAÇOS	1: 3: 8				1: 1,5: 6			
	C	Ca	cA	A	C	Ca	cA	A
Cons. cimento (kg/m ³)	109,0	107,5	105,0	103,1	157,9	156,0	152,0	149,0
(%)	(7,0)	(6,9)	(6,8)	(6,7)	(9,8)	(9,7)	9,6)	(9,5)
Cons. entulho (m ³ /m ³)	0,289	0,283	0,279	0,270	0,209	0,207	0,202	0,197
(%)	(21,2)	(22,3)	(23,4)	(24,5)	(14,8)	(15,7)	(16,5)	(17,3)
Cons. areia (m ³ /m ³)	0,785	0,767	0,757	0,745	0,849	0,842	0,821	0,802
(%)	(71,8)	(70,8)	(69,8)	(68,8)	(75,4)	(74,6)	(73,9)	(73,2)
Relação a/c	3,146	3,111	3,030	3,016	2,099	2,053	2,134	2,086
Relação a/mat. secos	0,219	0,214	0,206	0,203	0,219	0,199	0,204	0,198
Consistência (mm)	305	311	312	308	322	325	335	330

4-2-2-3 Retenção de água

No gráfico da Figura 2, está indicada a capacidade de retenção de água para cada uma das oito argamassas dosadas; pode ser observado que os melhores resultados foram, obtidos com a utilização do entulho Ca, composto por 661% de material cerâmico e 34% de argamassas endurecidas.

Figura IV-2

Figura IV-2 Variação do índice de retenção de água

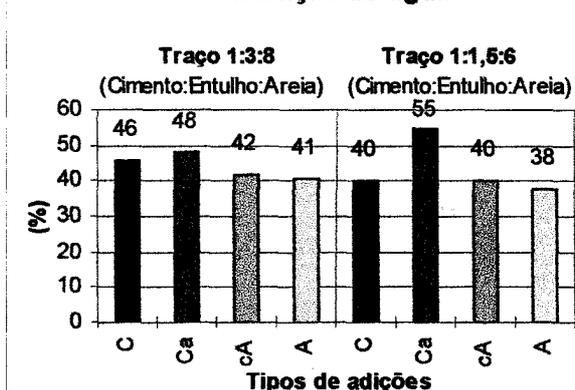
Valores ligeiramente inferiores a aqueles obtidos por JOHN [1994] que foram de 57 e 64% para argamassas convencionais (cimento: cal: areia) com traço em volume 1:2:9, com consistência de 300 mm, preparadas com cal dolomítica e cal cálcica respectivamente.

4-2-3 Argamassas no estado endurecido

4-2-3-1 Resistência mecânica à compressão e à tração

Nos gráficos da Figura IV-3 estão indicados os valores da resistência à compressão 14, 28 e 91, dias em função da adição utilizada. O incremento da resistência à compressão chega a 2,5 vezes para um consumo de cimento que varia não mais de 5%, ou seja praticamente constante; esta tendência se repete em ambos os traços e pode também ser observada para resistência à tração, conforme indicado na Figura IV-4.

Retenção de água



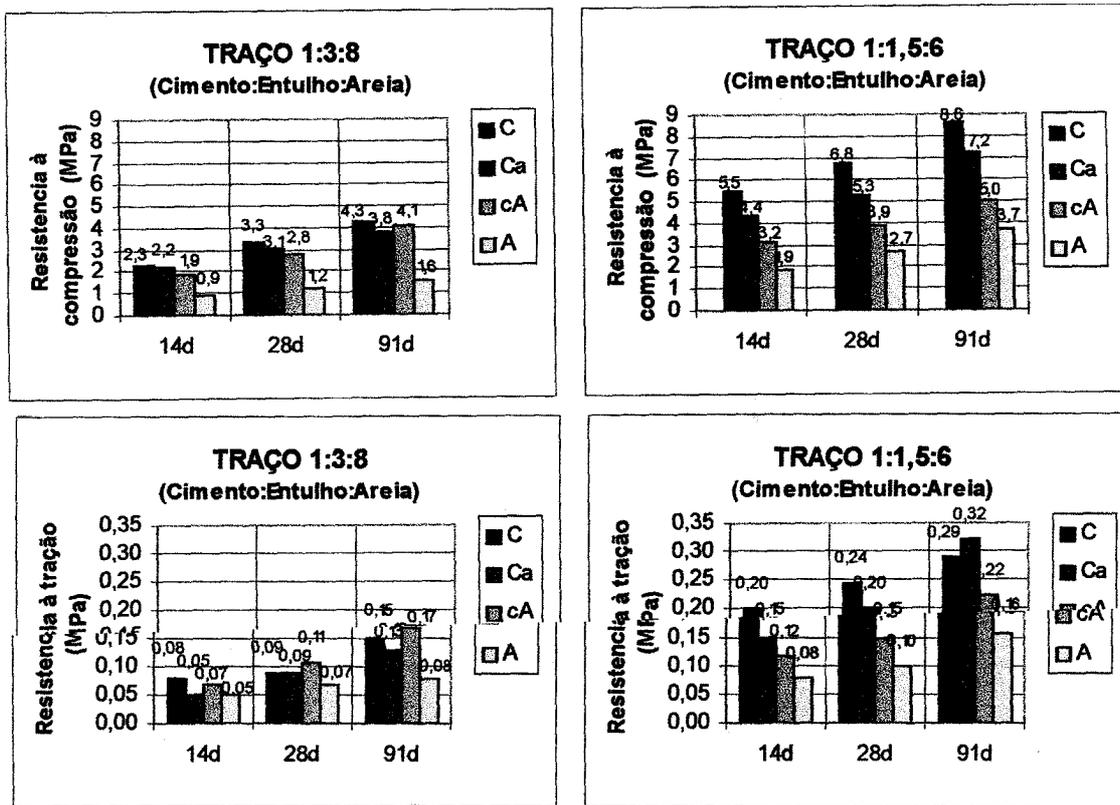
Pode ser visto claramente nos gráficos da Figura IV-3 e Figura IV-4 que os valores da resistência à compressão e à tração sofrem influência do teor de materiais cerâmicos presentes no entulho reciclado, utilizado como adição, porém não se pode afirmar que o teor de materiais cerâmicos tenha algum efeito no crescimento relativo das propriedades mecânicas estudadas, em função do tempo, fato que pode ser constatado analisando-se a variação das resistências à compressão e à tração das argamassas só com materiais cerâmicos (C) e sem materiais cerâmicos (A).

Figura IV-3

Figura IV-3 Resistência à compressão para os traços 1:3:8 e 1:1,5:6

Figura IV-4

Figura IV-4 Resistência à tração para os traços 1:3:8 e 1:1,5:6



4-2-3-2 Módulo de elasticidade

Os valores normalmente encontrados para argamassas mistas produzidas com traço 1:2:9 de acordo com FIORITO [1994], são da ordem de 1 Gpa aos 28 dias. Para o traço 1:3:8 os valores obtidos aos 28 dias são praticamente os mesmos para todas as argamassas ensaiadas, produzidas com material reciclado.

Figura IV-5

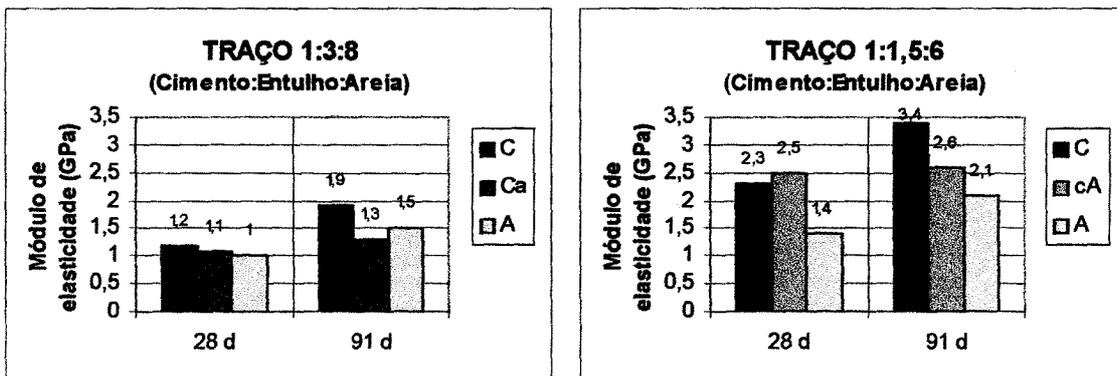
Figura IV-5 Evolução do módulo de elasticidade para os traços 1:3:8 e 1:1,5:6

Pela análise dos gráficos da Figura IV-5 constata-se facilmente que as observações anteriores para as resistências à compressão e resistência à tração são validas também para o módulo de elasticidade.

4-2-3-3 Velocidade e profundidade de carbonatação

Uma vez que não existe normalização específica para medida desta propriedade, optou-se por simplesmente deixar as metades dos corpos-de-prova ensaiados expostos às condições atmosféricas no laboratório.

Conforme esperado, em conseqüência da alta relação água/cimento utilizada no preparo das argamassas, a velocidade da frente de carbonatação se mostrou elevada, atingindo profundidades de até 4 mm já aos 7 (sete) dias de exposição ao ar.



As medidas foram realizadas após 7, 14 e 28 dias de exposição e os resultados obtidos são apresentados na Figura IV-6

Figura IV-6

Figura IV-6 Velocidade de carbonatação para as diversas argamassas.

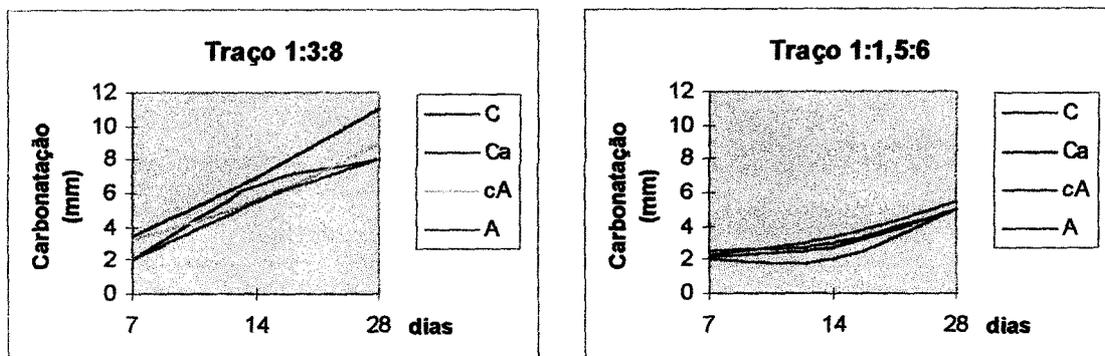
Observa-se que no traço mais pobre a velocidade de carbonatação foi mais elevada; logo aos 7 (sete) dias os valores medidos variaram entre, 3 e 4 mm contra 2 a 2,5 mm no traço mais rico; isto sem dúvida seria consequência da maior porosidade das argamassas mais pobres cuja relação a/c foi em média 50% mais elevada.

É interessante observar também que o teor mais elevado de materiais cerâmicos presentes nas adições utilizadas, não influencia a velocidade de carbonatação; aparentemente esta parece ter sido a única das propriedades estudadas que não foi afetada pelo teor de materiais cerâmicos presentes.

Constatou-se também que, as faces dos corpos-de-prova as quais haviam recebido acabamento, ou seja as alisadas com espátula, e conseqüentemente tiveram sua porosidade superficial reduzida, não apresentaram indício de carbonatação nas primeiras leituras, porém aos 28 (vinte e oito) dias, a leitura efetuada revelou que a profundidade de carbonatação era praticamente da mesma ordem em todas as faces.

4-2-3-4 Comparação entre resultados

Os resultados de argamassas equivalentes encontradas, na literatura são comparados aos das argamassas preparadas com adição de material reciclado, conforme indicado na Figura IV-7; quando comparados os consumos das argamassas



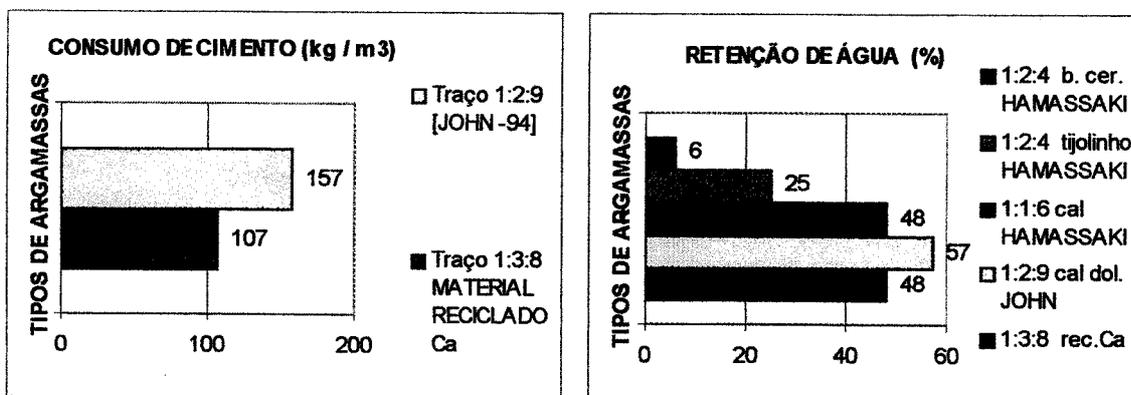
convencionais com as de material reciclado, conclui-se que há uma redução de 30% no consumo de cimento para as argamassas produzidas com material reciclado; todavia, estas apresentam uma redução de 15% na capacidade de retenção de água.

Figura IV-7

Figura IV-7 Comparação de resultados disponíveis

No estudo elaborado por HAMASSAKI et al. [1996] não constam os consumos de cimento. A capacidade de retenção de água encontrada foi bem mais baixa do que a das argamassas produzidas neste trabalho, fato que deve possivelmente ser atribuído à diferença de granulometria entre agregados reciclados utilizados em ambos os trabalhos, para se dar uma idéia, só para a fração passante na malha da peneira 0,15 mm foram 10% contra 30%.

Concluída a apresentação do estudo experimental, em que foram analisadas argamassas preparadas com entulho reciclado, produzido no laboratório do CPqDCC, a seguir no capítulo V serão apresentadas as conclusões.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado pode ser subdividido em 3 (três) grandes partes distintas indicadas a seguir:

Na 1ª (capítulo 1) foi mostrado um panorama do estado da arte a respeito do tema “A reciclagem do entulho de construção civil no Brasil e no Exterior”, estudou-se sua composição e as causas que o originam e apresentou-se o modelo desenvolvido pelo Departamento de Construções e Bens Imóveis da Escola Politécnica de Hong Kong para prever o volume de entulho gerado em função do valor da obra contratada ou da área construída que comparado aos dados apresentados por PINTO - [1993] mostrou equivalência e aplicabilidade.

Na 2ª parte (capítulos II e III) foram citados os principais equipamentos utilizados na reciclagem do entulho, procurou-se entender fisicamente quais as principais diferenças entre os agregados naturais e reciclados através da análise de informações interpretação de dados obtidos por diversos pesquisadores que trataram de avaliar o desempenho de concretos e argamassas produzidas com agregados reciclados. Abordou-se também, os aspectos econômicos relativos às instalações de reciclagem e calculou-se o custo unitário de agregados reciclados produzidos em pequenas instalações.

Na 3ª parte (capítulo IV) avaliou-se tecnologicamente, através da realização de experimento, qual a influência e dos materiais cerâmicos e argamassas endurecidas encontrados mais abundantemente no entulho de construção, no desempenho de novas argamassas.

1. Conclusões

Do exposto na 1ª (primeira) etapa deste trabalho, depreende-se que:

1. Embora existam registros de operações de reciclagem desde os primórdios da civilização romana, somente no período pós 2ª grande guerra surgiram oportunidades economicamente viáveis de sua utilização em larga escala, tanto em face ao volume de material disponível, como pela dificuldade crescente, da obtenção de agregados naturais tecnicamente adequados para construção civil. Considera-se que os estudos para aplicação e uso de entulho na construção civil tenham iniciado em 1946.
2. Nações tecnologicamente avançadas têm-se preocupado em reciclar o entulho, por *falta de espaço físico* para disposição do volume de material oriundo de demolição *por ser ecologicamente* inaceitável continuar destruindo a natureza para construir novos edifícios. Centenas de milhares de obras em concreto e alvenaria terão atingido sua vida útil nos próximos anos e várias delas serão demolidas. Parece ser economicamente viável reciclar o entulho para produção de agregados graúdos empregados na produção de concretos para diversas finalidades, por exemplo, blocos de concreto, estabilização de sub-base e produção de elementos pré-moldados. Parece ser tecnicamente viável a utilização do entulho para produção de agregados desde que observados alguns cuidados fundamentais para prevenir os efeitos negativos.
3. Normas, códigos e métodos de ensaio para agregados reciclados e concretos com agregados reciclados estão sendo elaboradas ou reavaliadas no Japão, Estados Unidos, Países Baixos, Grã Bretanha e na Dinamarca.
4. De acordo com pesquisas realizadas no Japão, um concreto produzido com agregados naturais poderá ter 30% de seu agregado graúdo substituído por agregado reciclado sem apresentar alterações significativas em suas propriedades.
5. Segundo PINTO [1989] a composição média do entulho de construção encontrada para as obras do município de São Carlos composta por 64% de argamassas e 29% de materiais cerâmicos, poderia ser adotada para a maioria das obras nacionais enquanto perdurarem os atuais processos construtivos.
6. As razões fundamentais pelas quais se recicla o entulho no exterior são abundância no suprimento de material de demolição e falta de espaço físico para disposição de resíduos dificuldade crescente para obtenção de agregados naturais de qualidade. As razões fundamentais pelas quais o entulho é reciclado no Brasil são reduzir o desperdício inerente aos atuais processos construtivos e amenizar as conseqüências da disposição ilegal de entulho, além de apresentarem vantagem econômica reduzindo o consumo de cal e cimento.

Do exposto na 2ª (segunda) etapa deste trabalho, depreende-se que:

1. Instalações para produção de agregados reciclados de concretos não são muito diferentes das instalações para produção de agregados naturais.
2. Britadores de impacto propiciam a melhor distribuição granulométrica aos agregados de concreto reciclado e são menos sensíveis que britadores de mandíbulas quando no entulho estiver presente material que não pode ser britado, como por exemplo barras de armadura. Quando são analisadas outras propriedades além da granulometria, os britadores de mandíbulas

apresentam melhor performance, uma vez que trituram menores quantidades de agregados originais do concreto velho, assim sendo, haverá menor volume de argamassa aderida à superfície dos agregados reciclados e portanto menor absorção de água.

3. A principal diferença entre agregados naturais e reciclados é a camada de argamassa antiga aderida a superfície do material reciclado, em linhas gerais os valores encontrados foram 30% na fração de 16 - 32 mm, 40% na fração 8 - 16 mm e 60 % na de 4 - 8 mm, valores em volume. Conseqüentemente agregados reciclados apresentará maior absorção de água.
4. A elevada absorção de água dos agregados miúdos reciclados, torna economicamente inviável sua utilização na produção de concretos, uma vez que, haverá necessidade de maior consumo de água para manter a trabalhabilidade desejada e em conseqüência um decréscimo da resistência à compressão se não for corrigida a relação de água.
5. A fim de manter a uniformidade necessária na produção de concretos é recomendável que os agregados graúdos reciclados sejam pré-umedecidos antes de sua utilização.
6. Em laboratório determinaram que a resistência à compressão, à tração e à flexão de concretos com agregado reciclado, pode ser igual ou até mesmo superior a do concreto original quando este houver sido preparado com relação a/c igual ou inferior a do concreto original. Entretanto, na prática não é o que acontece e mesmo em laboratório, pois freqüentemente a resistência de concretos com agregado reciclado, será menor do que a do concreto original¹. Este fato é particularmente importante quando se produz concreto estrutural ou de alta resistência a partir de concretos originais de baixa resistência, ou quando se utiliza agregados graúdos e miúdos reciclados, neste caso, a diferença entre a resistência dos concretos com agregados naturais e concretos com agregados reciclados pode variar mais de 50%, dependendo da qualidade do concreto que originou os agregados reciclados. Normalmente, a diferença entre concreto com agregado reciclado e de referência oscila entre 5 e 15%.
7. Quando um agregado reciclado de qualidade uniforme é utilizado, o coeficiente de variação da resistência a compressão do novo concreto é similar a do concreto tradicional. Quando forem empregados agregados reciclados que não apresentam certa uniformidade na qualidade, o coeficiente de variação será maior para os concretos classificados como estrutural e menor para concretos de fundação, isto devido ao fato dos concretos estruturais normalmente serem preparados com baixa relação a/c, então nestas circunstâncias, todas as variáveis influem no desenvolvimento da resistência à compressão. todavia nos concretos de fundação preparados com maiores relações água/cimento a evolução da resistência à compressão deixa de ser suscetível as demais variáveis e passa a ser influenciada quase, que exclusivamente pela relação água /cimento.
8. Devido ao grande volume de argamassa velha aderida à superfície do agregado reciclado o módulo de elasticidade do concreto com agregado reciclado sempre será menor do que o módulo do concreto de referência com agregado natural. Os valores encontrados nas pesquisas analisadas variaram entre 15 e 40% em relação aos concretos preparados só com agregados naturais, essa diferença chega a dobrar quando todos os agregados utilizados são reciclados.
9. Em face a grande quantidade de argamassa existente, na superfície dos agregados reciclados a retração lenta e a retração por secagem sempre foram superiores a dos concretos de referência preparados com agregados naturais, em media essa diferença foi 100% mais elevada nos

¹ Concreto original como definido anteriormente, trata-se do concreto que deu origem aos agregados reciclados, utilizados no preparo dos novos concretos.

concretos preparados só com agregados reciclados e 50 % mais elevada nos concretos preparados com apenas agregados graúdos, reciclados.

10. Pesquisadores como Di NIRO [1996] e RASHEEDUZZAFAR E KHAN [1984], concluíram que a maior diferença entre concretos com agregados naturais e reciclados ocorre para as baixas relações água/cimento por volta de 0,35 a 0,40, todavia a forma como foram conduzidas as pesquisas podem ter levado a resultados distorcidos, uma vez que em nenhuma das pesquisas houve o cuidado de caracterizar as famílias de concreto, ou seja conservar a relação água/cimento fixa e analisar como variava a consistência ou conservar a consistência e acompanhar a evolução da relação a/c.
11. As centrais de concreto localizadas junto às avenidas marginais como ocorre em São Paulo, poderiam analisar com especial atenção a hipótese de instalação de pequenas centrais de reciclagem em seus pátios para reprocessamento de suas próprias sobras ou de entulho de demolição previamente selecionado, que seriam recebidos. Desta forma poderiam produzir um volume equivalente a 30% do consumo de agregados graúdos e conseguir uma redução substancial no preço do m³ de concreto produzido. Se todas as centrais de concreto adotassem esta solução grande parte do problema da disposição ilegal de entulho e suas conseqüências possivelmente estaria solucionada.

Do exposto na 3ª (terceira) etapa deste trabalho, depreende-se que:

1. Na prática será remota a possibilidade da existência de um entulho sem materiais cerâmicos ou só com materiais cerâmicos, a composição do entulho de obra normalmente estará dentro dos limites de variação representada pelo entulho preparado no laboratório contendo 66% de material cerâmico e 34% de argamassa endurecida (Ca) ou 34% de materiais cerâmicos e 66% de argamassa endurecida (cA), como os valores obtidos para argamassas preparadas com estes dois entulhos utilizados como adições não apresentaram diferenças sensíveis, será possível concluir que, em situações reais mesmo os valores mínimos obtidos para as propriedades pesquisadas são perfeitamente aceitáveis.
2. A grande diferença constatada nos valores das propriedades mecânicas para as argamassas com material cerâmico e sem material cerâmico pode ser atribuída a dois fatores
 - a) O feito pozolânico dos materiais cerâmicos.
 - b) A grande quantidade de finos existentes no entulho proveniente de materiais cerâmicos reciclados (30,4% passando na peneira 200).
3. Dos materiais reciclados ensaiados, os cerâmicos distinguiram-se por possibilitar a produção de argamassas com resistências à compressão e a tração mais elevadas.
4. A quantidade de água requerida para se manter a consistência das argamassas cresce proporcionalmente ao aumento do teor dos materiais cerâmicos, independentemente do traço adotado para preparação do revestimento, fato perfeitamente explicável uma vez que a quantidade de finos existente nos materiais cerâmicos é da ordem de 30%.
5. De forma geral, pode-se ver que, no estado fresco, a maior presença do material cerâmico produz argamassas mais compactas (aumento da massa unitária). Já a maior presença de sobras de argamassas podem levar a argamassas com menores consumos de cimento, da ordem de 3 a 5% em relação às argamassas mais ricas em resíduos cerâmicos.

6. Para as argamassas estudadas, conforme constatado, com uma variação modesta no consumo de cimento (de 3 a 5%), resulta em um incremento da ordem de 2,5 vezes na resistência à compressão. Essa alteração significativa pode ser explicada pelo desenvolvimento do potencial aglomerante do material cerâmico, presente no entulho, devido a uma reação pozolânica combinada com efeito "filler".
7. As argamassas produzidas com adição de entulho reciclado apresentam em média uma redução de 30% no consumo de cimento em relação aos resultados existentes na literatura para argamassas mistas equivalentes.
8. Os resultados obtidos, com o emprego de materiais reciclados foram muito mais homogêneos do que o esperado, porém para confirmar a utilização irrestrita destas argamassas seria necessária o estudo e a análise de outras propriedades como, retração por secagem e um estudo de durabilidade a longo prazo.

2. Transferência ao meio técnico

Os resultados da parte experimental deste trabalho, vem sendo transferidos ao meio técnico através de publicações em:

- Simpósios
- Seminários
- Revistas especializadas
- Palestras
- Divulgação da idéia de reciclagem no próprio canteiro junto a iniciativa privada como sendo um processo tecnicamente correto e capaz de reduzir o consumo de aglomerantes sem redução da qualidade das argamassa

Os resultados do levantamento bibliográfico sobre o tema *produção de concreto com material reciclado* poderão ser transferidos ao meio técnico utilizando-se os mesmo meios anteriormente citados, porém não pode ser esquecido que em nosso País o tema é praticamente inédito, uma vez que não foram encontrados trabalhos técnicos relativos a reciclagem de concreto especificamente, portanto o esforço de divulgação deverá ser muito mais intenso.

A nível nacional soube-se que na um único trabalho Somente através de comunicação pessoal do Engenheiro Luciano M. Latterza, mestrando do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia Universidade de São Paulo em São Carlos, soube-se que foi iniciado um estudo para caracterização e produção de concretos com agregados graúdos reciclados, sobre a orientação do Prof Eloy F. Machado Júnior e que na Universidade de Campinas o Engenheiro Sérgio Eduardo Zordan está desenvolvendo um estudo que será objeto de uma dissertação de mestrado intitulada "Utilização de entulho como agregado na confecção de concreto"

3. Continuidade da pesquisa

Como continuidade às pesquisas iniciadas, propõe-se os seguintes temas:

Na linha de reciclagem de entulho no canteiro de obra para produção de argamassas, será interessante estudar

- retração por secagem
- durabilidade
- permeabilidade.

Na linha de reciclagem de entulho de demolição para produção de agregados graúdos de concretos.

É importante a realização de uma pesquisa capaz de produzir resultados padronizados e comparáveis, para isso, há necessidade de produzir séries de concreto pertencentes às mesmas famílias e analisar a velocidade de absorção de água dos agregados reciclados. Esta análise, permitiria determinar se um concreto com agregados reciclados, produzido com uma relação água cimento, apresentaria redução desta relação com o transcorrer do tempo em consequência da água absorvida pelo agregado reciclado. Pois desta forma, seria possível avaliar qual o ganho de resistência em virtude do decréscimo da relação água/cimento adotada inicialmente.

4. Possibilidades práticas para utilização de material reciclado

Inicialmente deve ser respondida a pergunta, *quais os motivos que levam à reciclagem do entulho no Brasil, uma vez que se dispõe de áreas grandes, abundantes a preços relativamente baratos e os agregados naturais ainda são encontrados com relativa facilidade?* O que existe no Brasil é um grande volume de entulho gerado em função do desperdício causado por processos construtivos bastante arcaicos e como ainda o País pode ser considerado como País em franco desenvolvimento, ter-se à um volume de entulho (materiais minerais) muito grande a um custo dez vezes mais barato que os agregados naturais e como indicam os primeiros resultados deste estudo é tecnicamente viável sua utilização, portanto poderíamos seguir o exemplo dos holandeses e dos japoneses e começar a substituir de 20 a 30 % dos agregados naturais, fica evidente que de acordo com este panorama as concreteiras seriam os maiores consumidores em potencial para utilização de agregados graúdos reciclados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute ACI COMMITTEE 201 [1977], **Guide to durable concrete**, (ACI 201. 2R -77), ACI Journal, p594
- Ajdukiewicz, B.A.; Kliszczewicz, T.A. Properties of structural concrete With rubble aggregate from demolition of RC/ PC structures. in: CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND. -INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION, Dundee- Escócia junho 1996. **Proceedings** Ravindra & Thomas Grã Bretanha - 1996 pp. 115 a 120.
- AKHTARUZZAMAN, A. A.; HASNAT, A.; Properties of concrete using crushed brick as aggregate. **Concrete International** Feb. - 1983 pp 58-63.
- Building Contractors Society of Japan B.C.S.J. **Proposed standard for the use of recycled aggregate and recycled aggregate concrete**. Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste (1977)
- Building Contractors Society of Japan B.C.S.J. Study on recycled aggregate and recycled aggregate concrete,. Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste summary in **Concrete Journal**, Japan, 16, no. 7, pp. 18-31 (1978)
- BUCH, A.D. Recycled concrete as a source of aggregate. **ACI Journal** pp. 212 –219 (1977)
- Camargo Antonio, Reciclagem minas de entulho **Téchne** nº15 mar/abril 1995 p 15 a p 18 Editora PINI São Paulo S.P.
- CARVALHO JR.; A. N.; SILVA, A. P.; FRANÇA, E. P.; Estudo comparativo entre argamassas de cimento e argamassas mistas de cimento e cal para uso em emboço. in: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TÉCNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, 1º, Goiânia, Brasil. Agosto 1995. **Anais**. Goiânia, 1995 pp. 261- 270.
- COQUILLAT, G. Recyclage de materiaux de demolition dans la confection de béton. CEBTP - **Service d'Étude des Materiaux Unite: Tecnologie des Beton**, marche 1982, No 61 - 80 - 248 Saint Remy les Chevreuse.
- CORBIOLI N.; Reciclagem de entulho do caos à solução **Construção** São Paulo nº 2505 Fevereiro 1996, p4 a p7 Editora Pini São Paulo S.P.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT.**Classification des caractéristiques des enduits d' imperéabilisation de façade**. *Cahiers du CSTB*, Paris, no 307, cahier 2401, 4p. mars 1990.
- Conditions générales d'emploi et de mise on ouvre des enduits d' impemeabilisation de murá de liants hydrauliques faisant l'objet d; un avis technique**. *Cahiers du CSTB*, Paris, no 230, cahier 1777, 7p. juin 1990

- Commissie voor Uitvoering van Research CUR **Betonpuingranulaaten Metselwerkpuins Granulaat alls Toeslagsmaterial van Beton.** Commissie voor Uitvoering van Research ingesteld door de Betonvereniging, Rapport 125.- 1986
- Commissie voor Uitvoering van Research CUR/VB **Betonpuingranulaat alstoelagsmateriaal voor Beton, V. B.** Aaribeveling 4 CUR 1984, recomendações inclusas na referência anterior
- Di NIRO, G.; DOLARA, E.; RIDGWAY, P. Recycled aggregate concrete (RAC): properties of aggregate and RC beams made from RAC in: CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND. -INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION, Dundee- Escócia junho 1996 **Proceedings.** Ravindra & Thomas Grã Bretanha -1996 pp 141 a 149.
- De PAUW, C.; DESMYTER, J.; DESSEL J. Van Reuse of construction and demolition waste as aggregates in concrete, technical and environmental aspects in: CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND. -INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCENIENT AND PROTECTION, Dundee- Escócia junho 1996 **Proceedings.** Ravindra & Thomas Grã Bretanha - 1996 pp 13 1- 140.
- De PAUW, C. Recyclage des Decombres d'Une Ville Sinistree **C.S.T.C. Revue** nº4 decembre 1982.p12 a p28
- De PAUW, C. Béton Recyclé. Centre Scientifique et Technique de la Construction, **C.S.T.C. Revue** Nº 2 juin 1980
- DEUSTSCHE NORMEN-DIN. 4163 Ausgabe 02.1951 Ziegelsplittbeton. Bestimmungenür die Herstellung Verwendung.
- DIF Norma Dinamarquesa Proposed amendment to the danish concrete code: use of recycled demolition rubble - 1989 **Dansk Beton, 6,** nº4.
- DREES, G.; Recyclig von Baustoffen in Hochbau, Geräte, Materialgewinnung, Wirtschaftlichkeiterechnung. **GMBH** Wiesbaden und Berlin - 1989
- EMERY J.J. Civil engineering applications of wastes and by-products in Canadá, CR CONF. INT. SOUS PRODUITS ET DÉCHETS DANS LA GÉNIE CIVIL, **Proceedings** Paris 1978 pp. 17 -23
- FAÇO Fábrica de Aço Paulista **Manual de britagem.** 5 ed. São Paulo - 1994
- FIORITO, Antonio J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** São Paulo PINI -1994
- FRONDISTON-YANNAS, S.; Waste concrete as aggregate for new concrete **ACI Journal** pp 373-376.

- FRONDISTON-YANNAS, S., Economic of concrete recycling in United States, in ADHESION PROBLEMS IN THE RECYCLING OF CONCRETE. (Ed. Kreijger, P.C.) NATO Conference Series IV (Materials Science) Plenum Press, New York -1984 pp 163-186.
- FRONDISTON-YANNAS, S.; ITOH T.; Economic feasibility of concrete recycling **Journal of the Structural Division** ASCE 1985, 103; 805.
- GERARDU J.J. A; HENDERIS, C.F; Recycling of road pavement materials in the Netherlands, **Rijkswaterstaat** Communication n° 38 the Hague - (1985)
- GRÜN, R. **Zusammensetzung und Beständigkeit von 1850 Jahre altem Beton.** Angewandte Chemie 1935 Nr. 7, S. 124-127.
- HAMASSAKI, L. T; SBRIGHI NETO, C. & FLORINDO, M. C. Utilisation of construction waste in rendering mortar. in: CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND - INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION, Dundee - Escócia junho 1996. **Proceedings.** Ravindra & Thomas Grã Bretanha - 1996 pp 115 a 120
- HANSEN, T.C and BOEGHE. - Elasticity and drying shrinkage of recycled concrete aggregate concrete 1985 **ACI journal**, pp 648-652.
- HANSEN, T. C.; and NARUD, H.; Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate **Concrete International- Design and construction**, 5 n° 1 pp 79-83 - [1983]
- HANSEN T. C. RILEM Report 6 **Recycling of Demolished Concrete and Masonry**, London, E&FN Spon an imprint of Chapman & Hall, 1992. 305p.
- HANSEN, T. C., HEDEGAARD, S.E. Properties of recycled aggregate concretes as affected by admixtures in original concretes. **ACI Journal**, 1984 pp 21-26 []
- HASABA, S.; KAWAMURA, M.; TORIUK, K Drying shrinkage and durability of concrete made d recycled aggregate,. **Japan Concrete Institute**, 1981 n° 3 pp. 55-60
- HEDEGAARD, S.E. Recycling of concrete with additives, M.Sc. thesis, Technical Report 116/82 **Building materials Laboratory**, Technical University of Denmark, Lyngby.- 1981.
- HELLER, K. Schrifttums-Verzeichnis. Deutsche Studiengesellschaft für Trümmerwertung e.V, 1958.
- HENDRIKS, C. F. Wiederverwendung von Strassenaufbruch und Bauschutt in den Niederlanden. In: INTERNATIONAL RECYCLING CONGRESS, 4°, Berlin 1984. **Proceedings** Berlin -1984 pp 972-977.
- HENDRIKS, C. F. - The use of concrete and masonry waste as aggregates for concrete production in the Netherlands in: EDA/RILEM DEMOLITION-RECYCLING CONFERENCE.

Proceedings. Vol. 2 Re-Use of concrete and Brick Materials, Rotterdam, European Demolition Association 1985. Wassenaarseweg 80, 2596 CZ; Den Haag, the Netherlands.

HOFFMEISTER, C. Zerkleinerung von Bautrümmern. Die Bauwirtschaft, 2, 1948, n° 11/12, pp 44-51.

HONG KONG POLYTECHNIC (Department of Building and Real Estate). THE HONG KONG CONSTRUCTION ASSOCIATION LTD. **Reduction of Construction Waste, Final Report.** Hong Kong, march 1993. 93p.

HUISMAN, C.L.; BRISTON, R.A.; Recycled Portland cement concrete specifications and control in Federal Highway Administration (FHWA) in: National Seminar on PCC Pavement recycling and rehabilitation, St Louis, Missouri USA 1981. Federal Highway Administration **Proceedings** Report FHWA- TS -82-208 -1981. pp. 140-143.

IVANYI, G.. LARDI, R.; ESSER, A. **Recycling beton.** Forschungsbericht aus dem Fachbereich Bauwesen - 1985 n°33, Universität- Gesamthochschule, Essen.

KAGA, H.. KASSAI, Y.; TAKEDA, K.; KEMI, T. Properties of recycled aggregate from concrete, in INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings.** Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov. -1988. pp 690-698

KAKIZAKI, M.; HARADA, M.; MOTOYASU, H. Manufacturing of recovered aggregate through disposal and recovery of demolished concrete structures in INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings.** Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov.-1988. pp 699-708

KAKIZAKI, M.; HARADA, M.; SOSHIROD, A. Strength and elastic modulus of recycled aggregate concrete. in: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings.** Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov.-1988. pp 557-564^{135f}

KASSAI, Y. **Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Two Volume Set, Volume 2 Reuse of Demolition Waste.** London, E&FN Spon an imprint of Chapman & Hall, 1992. 296p.

KASHINO, N.; TAKAHASHI, Y. Experimental studies on placement of recycled aggregate concrete. in: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings.** Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov.-1988. pp 557-564.

- KASSAI, Y. Studies into the reuse of demolished concrete in Japan. in: EDA/RILEM DEMOLITION-RECYCLING CONFERENCE. **Proceedings**. Vol. 2 Re-Use of concrete and Brick Materials, Rotterdam, European Demolition Association 1985. Wassenaarseweg 80, 2596 CZ, Den Haag, the Netherlands.
- KAWAMURA, M.; TORII, K. Reuse of recycled aggregate for pavement. in INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings**. Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov.-1988. pp. 726-735
- KAWAMURA, M.; TORII, K.; TAKEMOTO, K. Properties of recycling concrete made with aggregate obtained from demolished pavement. **Journal of the Society of Materials Science**, -Japan, -1983, 32 n° 353
- KIKUCHI, M.; MUKAI, T.; KOZUMI, H. Properties of products containing recycled aggregate in INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings**. Y. Kassai- London, Chapman & Hall Nov. -1988. pp 595-604.
- KVIV -TI-WTCB seminar: How to demolish safely and recycle 80.000 m3 concrete Antwerp, 1987
- LAGUETTE, M. J. Reciclaje. la clave para la conservación de recursos **CONSTRUCTION PAN-AMERICANA**, julho 1995.
- LANPRECHT, H. O. Opus Caementitium- Bautechnik der Römer. Schriftenreihe der Bauberatung Zement, **Beton Verlag** 1984.
- LARA, D. Dosagem das argamassas. in: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, 1°, Goiânia, Brasil. Agosto 1995. **Anais** Goiânia, 1995 pp 63 -72
- LAURITZEN, K. Erik RILEM Buletin. in: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY, 3°, Odense, Denmark. October 1993. **Materials and Structures** 1994, 27, p307-310,
- LEVY, S. M., HELENE, P. R.L. Reciclagem de entulhos na construção civil a solução política e ecologicamente correta. in: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS, 1°, Goiânia, Brasil. Agosto 1995 **Anais**. Goiânia, pp 315-325.
- LINDSELL. P.; MULBERON M. Recycling of demolition debris. 1985 **Institute of Demolition Engineers** 18 Station Approach Virginia Water, Surrey GU 25 4AAE, United Kingdom.

- MALHOTRA, V. M. Use of recycled concrete as new aggregate. in: SYMPOSIUM ON ENERGY AND RESOURCE CONSERVATION IN THE CEMENT AND CONCRETE INDUSTRY, CANMET, **Report** n° 76-8. Ottawa. -1987
- MORILON, D.; VENTSTERMANS, L, VYNCKE, J. Demolition of the Zandvliet lock as aggregates for concrete- in INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings**. Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov.-1988. pp 709-718.
- MARTINELLI, F.A. **Contribuição ao estudo de dosagem das argamassas mistas destinado a assentamento e revestimento de alvenarias**. São Paulo, 1989 Dissertação (Mestrado) 168p.- Escola Politécnica, Universidade São Paulo.
- MUKAI, T.; Study on reuse of Waste concrete for aggregate of concrete. in : SEMINAR ON ENERGY AND RESOURCES CONSERVATION IN CONCRETE TECHNOLOGY, Japan US Cooperative Science Programme, San Francisco, 1979.
- MUKAI, T.; KIKUCHI, M.; ISHIKAWA, N. Study on the properties of concrete containing recycled aggregate. CEMENT ASSOCIATION OF JAPAN -1978 32nd Review.
- MULHERON M. The recycling of demolition debris: current practice, products and standards in the United Kingdom in: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings**. Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov. - 1988. pp 510-519
- MUNRO, R.R. Environmental concerns in recycling. in: National Seminar on PCC Pavement recycling and rehabilitation, St Louis, Missouri USA 1981. Federal Highway Administration **Proceedings** Report FHWA- TS -82-208 -1981 pp. 134-139
- NISHIBAYASHI, S; YAMURA, K. Mechanical properties and durability of concrete from recycled coarse aggregate prepared by crushing concrete. in: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings**. Y. Kassal - London, Chapman & Hall Nov.-1988. pp 652- 659
- NIXON, P. J. Recycled concrete as an aggregate for concrete - a review RILEM TC -37-DRC **Materiaux et Constructions** vol 11 n°65 1978 pp. 371 - 378.
- OFFERMANN, H. O futuro da reciclagem de entulho de construção. **Hochschuljournal Essen** - 52/1986 Reeditado por Universität-Gesamthochschule.
- ORMSBY, W. C. Use of materials and by-products in road constructions. in: COLLOQUE INTERNATIONAL SUR L'UTILISATION DES PRODUITS ET DÊCHETS DANS LA GENIE CIVIL, Paris - 1978. **Procedurs** Paris AAIEENPC 1978 v1 pp. 37-42.

- PINTO, T.P. Utilização de resíduos de Construção - estudo do uso em argamassas. São Carlos 1989. 148 p. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia de São Carlos (Departamento de Arquitetura e Planejamento) Universidade de São Paulo.
- PINTO, T.P. Reciclagem de Resíduos de Construção e Possibilidade de Uso de Resíduos Reciclados em Obras públicas. in: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS PARA REDUÇÃO DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO HABITACIONAL; julho 1994 Belo Horizonte, MG, Brasil. **Anais**, Belo Horizonte, Julho 1994, pp. 49 - 55
- PINTO, T.P. Utilização de Resíduos de Construção - Possibilidade de Uso em Argamassas. in: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO E TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA EM HABITAÇÃO: DA PESQUISA À PRÁTICA, 1º, 1987. São Paulo -SP- Brasil. **Anais**, São Paulo Abril 1987 pp. 189-193.
- PINTO, T.P.; LIMA, J.A.R. Industrialização de Componentes a Partir de uma Política de Reciclagem de Resíduos da Construção Urbana. in: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO SOBRE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS INDUSTRIALIZADAS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL; 3º, 1993 – IPT, São Paulo, Brasil. **Anais**, São Paulo- out. 1993. pp. 528-537.
- PUCKMAN, K.; HENRICHSEN, A.; Reuse of concrete pavements. in INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2º Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings**. Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov.-1988. pp 746-755
- RAL - RG 501-1 Gütegemeinschaft Recycling Baustoff e.V. Recycling-Baustoff für den Strassenbau, Gütesicherung, Beuth Verlaag, Berlin 1985- Materiais de construção reciclados para construção de estradas **Instituto alemão para a identificação e garantia da qualidade** Trad. anônima fevereiro.
- RASHEEDUZZAFAR; KHAN A. Recycled concrete - a source for new aggregate. **Cement Concrete, and Aggregates** - (ASTM), Vol. 6, nº1, 1984 pp. 17-27
- RAVINDRARAJAH, R. S.; TAM, T.C. Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate. **Magazine of Concrete Research**. Vol. 37 nº 130 march 1985 pp. 29-38.
- RAVINDRARAJAH, R.S.; LOO, Y, H.; TAM, T.C. Recycled aggregate as fine and coarse aggregates in concrete **Magazine of Concrete Research**. Vol. 39 nº 141 December 1987 pp. 214-220.
- RAY, G.; Recycling Portland cement concrete. Paper presented at 6 Th. National Institute on Recycled Pavements, University of Wisconsin-Extension, Madison, WISCONSIN.- 1989.

REUNION INTERNATIONALE DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET DE RECHERCHES
MATERIAUX ET LES CONSTRUCTIONS-RILEM TC 121-DRG RILEM
RECOMMENDATION Specifications for concrete with recycled aggregates **Materials and
Structures** 1994, 27, pp. 557 - 559

RAVERDI, M.; BRIVOT, F.; PAILLERRE, A.M.; DRON, R. Appréciation de l'activité
pouzzolanique des constituantes secondaires, In: CONGRÈS INTERNATIONAL DE LA
CHIMIE DES CIMENTS, 7e, Paris, 1980, vo III, IV-36.

SAMARAI, M.A. The disintegration of concrete containing sulphate contaminated aggregates
Magazine of Concrete Research. Vol. 28 n° 96 -1976 pp. 130-140.

SANTOS, P S. **Tecnologia das argilas aplicada às argilas brasileiras**. São Paulo, Edgard
Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 1975 2v.

SCHULZ, R. R. Concrete with recycled rubble-development in West Germany. in
INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF
CONCRETE AND MASONRY. 2° Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan
Tokyo Japan 1988 **Proceedings**. Y. Kassai - London, Chapman & Hall Nov.-1988. pp. 550
559.

SCHULZ e HENDRICKS - Report 6 **Recycling of Demolished Concrete and Masonry**, London,
E&FN Spon an imprint of Chapman & Hall, 1992. 305p (Part Two).

SELMO, S. M. S **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo
de fachadas dos edifícios**., São Paulo 1.989. Dissertação (Mestrado) 202p -Escola Politécnica,
Universidade São Paulo.

TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P. Strength of the recycled aggregate, concrete made using
field-demolished concrete as aggregate. **ACI Materials Journal** –march 1996 pp 182- 190.

TEYCHENNE, D.C; FRANCLIN, ENTROY; H. C. Design of normal concrete mixes. Department
of the Environment, Building Research Establishment, Garston, Watford.-1975].

VOEGLI, H. Erfahrungen bei der herstellung von Biberschwänzen aus Ziegelsplitteton und
versuche zur feststellung des Einflusses von Zementgehalt, Quarzsand-auf die
Biegezugfestigkeit und die Wasseraufnahme. n° 18, april [1949] pp. 127-132.

WALZ K. Feststellungen zur Beurteilung von Eigenschaften des Schüttrbetons 1949. Die
Bauwirtschaft 3 1949 n°11 pp. 245-24.

WEDLER,B.; HUMMEL A.Trümmerverwertung und Ausbau von Brandruinen. Wilhelm. Ernest &
Sohn, Berlin, 1946.

WESCHE, K.; SCHULZ, R. Beton aus aufbereitetem Albeton. Technologie und Eigenschaften
Beton, 1982 32 nos 2 and 3.

WILD, S.; KAHATIB, J.; SABIR, B.; ADDIS, S.D.; **The Potential of Fired Brick Clay as a Partial Cement Replacement Material** In: Concrete in the Service of Man Kind. -International Conference Concrete for Environment Enhancement and Protection, Dundee-Escócia junho 1996 Proceedings. Ravindra & Thomas Grã Bretanha - 1996 p. 685-96

WTCB/CSTC General specifications for the executions of private works. Brussels 1979.

YAMAMOTO, T.; EMOTO Y.; SOEDA, M.; SAKAMOTO, Y.; Some properties of recycled aggregate concrete. in: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2º Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 **Proceedings**. Y. Kassai-London, Chapman &Hall Nov.-1988. pp 643-651.

YANAGI, K.; HISAKA, M.; KASAI, Y. Effect of impurities in recycled coarse aggregate upon a few properties of the concrete produced with it. in INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY. 2º Reuse of demolition waste v 2-Nihon Daigaku Kaikan Tokyo Japan 1988 Proceedings. Y. Kassai London, Chapman & Hall Nov.1988. pp 613- 620.

ZAGURSKIJ, V. A.; ZHADANOVSKIJ, B. V. Breaking reinforced concrete and recycled crushed materials. **Research Institute for Concrete (GISSTROY)** Moscow- 1985. Special Technical Report.

ZAMPIERI, A.V. **Cimento Portland Aditivado com Pozolanas de Argilas Calcinadas: Fabricação, Hidratação e Desempenho Mecânico**. São Paulo 1993. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

ANEXO A

Relatório de Ensaio n° 829.785 IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Os resultados apresentados no presente Documento têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada. A utilização dos mesmos para fins promocionais depende de prévia autorização do IPT. A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

RELATÓRIO DE ENSAIO N° 829.795

INTERESSADO: Engo. Salomon Mony Levy - Aluno Pós-graduação da EPUSP
Departamento de Eng. de Construção Civil

MATERIAL: Resíduo cerâmico

NATUREZA DE TRABALHO: Determinação da atividade pozolânica

REFERÊNCIA: Solicitação efetuada pela Prof. Dra. Maria Alba Cincotto- Carta da EPUSP de 24 .04.95 do Orientador Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene.

1. AMOSTRA

1.1 Material declarado

Quatro amostras de resíduo cerâmico com as indicações:

"Amostra n°1 – Bloco cerâmico selecta - passando na peneira n° 50 (0,297mm) obra MC".

"Amostra n° 2 - Bloco cerâmico ITU - passando na peneira n° 50 (0,297mm) - obra Conspal".

"Amostra n° 3 - Bloco cerâmico Selecta 100%".

"Amostra n° 4 - Tijolo de barro moído - obras diversas - passando na peneira n° 50 (0,297mm)

1.2 Identificação da amostra no laboratório

LQM n° 9071 - "Amostra n°1 – Bloco cerâmico Selecta

LQM n° 9072 - "Amostra n°2 - Bloco cerâmico ITU

LQM n° 9073 - "Amostra n°3 - Bloco cerâmico Selecta 100%

LQM n° 9074 - "Amostra n°4 – Tijolo de barro moído.

1.3 Data de recebimento

07.07.95

1.4 Quantidade de material recebido

"Amostra n°1 – Bloco cerâmico Selecta": 175g

"Amostra n°2 - Bloco cerâmico ITU": 233g

"Amostra n°3 - Bloco cerâmico Selecta 100%": 407g

"Amostra n°4 – Tijolo de barro moído": 280g

2. MÉTODOS UTILIZADOS

Atividade pozolânica - Ensaio químico Segundo Método Chappelle modificado (M. Raverdi, F. Brivot, A. M. Paillette, R. Dron, "Appreciation de l'activité pouzzolanique des constituantes secondaires, 7e.Congrés International de la Chimie des Ciment", Paris - 1980, vol III, IV-36). Consiste em manter em ebulição, durante 16 horas, uma mistura de 1g de óxido de cálcio e 1g de material pozolânico e água. O resultado, é expresso pela quantidade de óxido de cálcio consumida por grama do material pozolânico (mgCaO/g pozolana).

3. RESULTADOS

Amostra	Atividade pozolânica (mgCaO/g amostra)
"n°1 – Bloco cerâmico Selecta"	224
"n°2 - Bloco cerâmico ITU"	454
"n°3 - Bloco cerâmico Selecta 100%"	242
"n°4 – Tijolo de barro moído"	565

OBSERVAÇÃO

A publicação citada anteriormente mostra que a diferença entre as resistências de cimentos com e sem pozolana, em função do óxido de cálcio consumido, aos 180 dias, é maior ou igual a zero para pozolanas que apresentam consumo de CaO superior a 330mg/g de pozolana

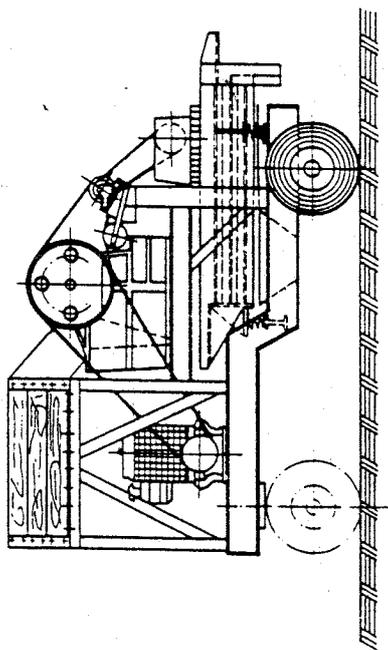
São Paulo, 14 de setembro de 1995

ANEXO B

Detalhe do conjunto de britagem utilizado no exemplo para determinação do custo de agregados reciclados

CONJUNTOS MÓVEIS DE REBRITAGEM E CLASSIFICAÇÃO

ARRANJO C



10.03

Apresentado em quatro tipos, empregando britadores primários de mandíbulas de pequeno porte ou rebitador de mandíbulas e peneiras vibratórias horizontais suspensas com dois ou três decks.

É o arranjo ideal para pequenas obras de pavimentação, devido à sua facilidade de operação e transporte, graças à construção leve e compacta, sendo capaz de classificar o produto final em até 5 faixas de separação.

fig. 10.02

tab. 10.02

Tipo	Denominação	Máquinas componentes		Peso (kg)	Medidas externas (m)			Dimensões da boca de alimentação (mm)	Potência total (hp)	Capacidade de produção (m ³ /h) com 85% do produto passando pela malha de						
		Britador	Peneira		comp.	larg.	alt.			3/4"	1 1/4"	1 3/4"	2 1/4"	3"	4"	
C110	Mineirinho	2015E	H-15005/2	1800	3,6	1,7	1,7	200 x 150	10	2	3,5	5	6	-	-	
C120	Paulistinha	3020E	H-23008/3	4900	4,5	2,0	2,9	300 x 200	20	-	-	7	9	12	15	
C130	Cearense	4230E	H-25008/3A	7200	5,1	1,9	3,5	420 x 300	30	-	-	-	9	12	15	20
C242	Amazonas	9026	H-25008/3A	9800	5,1	1,9	3,3	900 x 260	50	-	-	22	30	40	50	

Obs.: Todos estes conjuntos podem ser fornecidos com acionamento por motor diesel

ANEXO C

Detalhe esquemático do moinho utilizado para reciclagem

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Dentro de uma caçamba de piso horizontal, dois rolos moedores/misturadores, giram em torno de um eixo central vertical, puxados por manivelas de eixo duplo que lhes permitem elevar-se por cima do entulho, moendo-o. Obtém-se assim um material excelente, transformado em argamassa.

Duas pás raspadeiras de altura regulável empurram os materiais para baixo dos rolos moedores.

A descarga da argamassa pronta para usar, dá-se por uma comporta no piso da caçamba, com a moimho em funcionamento.

O equipamento é fornecido com o motor elétrico instalado, com polias, correias e protetor das mesmas.

Capacidade da caçamba: 500 litros de argamassa

Produção: 2m³/hora

Dimensões: Comprimento: 2.75 m

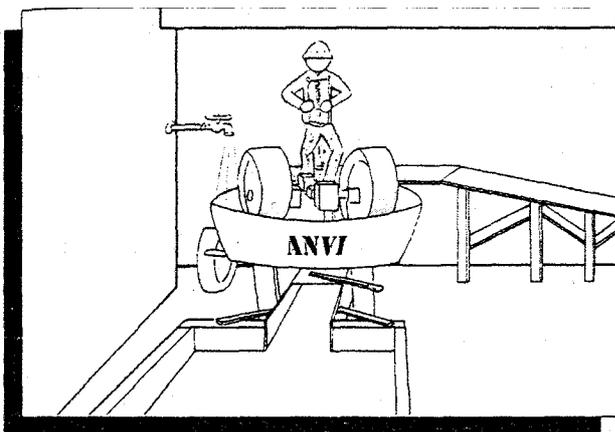
Largura: 1,90 m

Altura total: 1,50 m

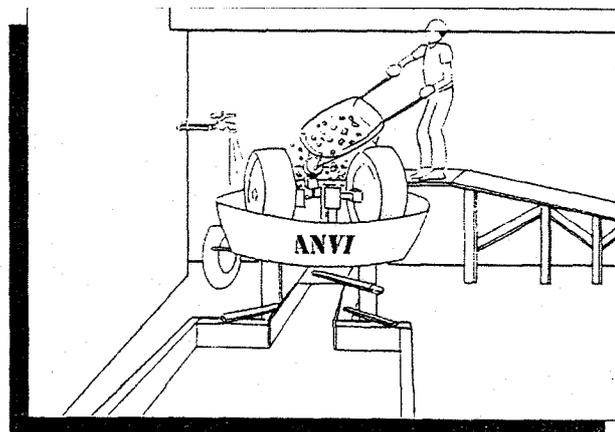
Peso líquido aproximado: 2.500 Kg.

Rolos Moedores/Misturadores: 0 80 cm x 25 cm (larg.) x 600 Kg. cada um

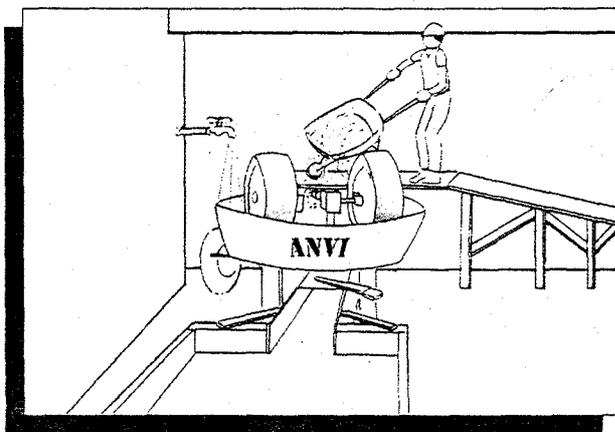
Motor elétrico blindado: 7,5 hp - 220/380 volts -Trifásico



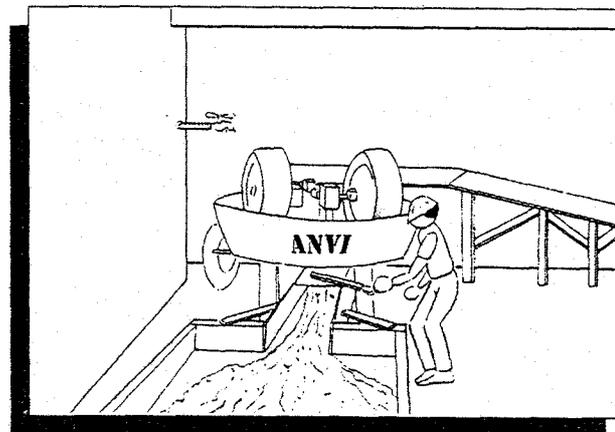
1: Despejar os aglomerantes (cimento, etc...) junto com água.



2: Acrescentar entulho e água . Somente após moído o entulho, agregar areia.



3: Agregar areia e água, formando uma massa com a plasticidade e consistência desejadas.



4: Despejar a argamassa pronta para usar, pela comporta do piso da caçamba.