

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Faculdade de Engenharia Civil - FEC

Departamento de Hidráulica e Saneamento

**A UTILIZAÇÃO DO ENTULHO COMO AGREGADO,
NA CONFEÇÃO DO CONCRETO**

Sérgio Eduardo Zordan

*Atestado por este e' a
presença definitiva da
dissertação*

Campinas, 10/3/82

V. Paulon

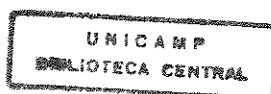
Orientador:

Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de Saneamento

Campinas, SP.

1997



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	Z76u
V	
Tombo B2	30459
PROC.	281193
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	23/05/97
N.º CPD	

CM-00099249-4

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Z76u Zordan, Sérgio Eduardo
A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto / Sérgio Eduardo Zordan.--Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: Vladimir Antonio Paulon.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Materiais de construção - Reaproveitamento. 2. Agregados (materiais de construção). 3. Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.). 4. Resíduos I. Paulon, Vladimir Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

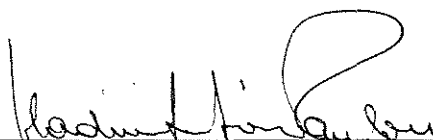
NÍVEL: MESTRADO

TÍTULO: "A UTILIZAÇÃO DO ENTULHO COMO AGREGADO NA CONFEÇÃO DO CONCRETO".

AUTOR: SÉRGIO EDUARDO ZORDAN

ORIENTADOR: PROF. DR. VLADIMIR ANTONIO PAULON

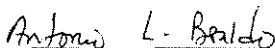
Aprovado por



Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon, Presidente



Profa. Dra. Eglé Novaes Teixeira



Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo

Campinas, 18 de fevereiro de 1997.

8175046

À minha mãe, Maria e
ao meu pai, Belmiro.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a todos aqueles que de maneira direta ou indireta participaram da realização deste trabalho, e especialmente:

- Ao professor Vladimir Antônio Paulon pela orientação prestada.
- À professora Eglé Novaes Teixeira pela colaboração e apoio.
- Ao Arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, pelo incentivo e ajuda prestada.
- À Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto, pela atenção e fornecimento do resíduo utilizado na pesquisa.
- À FEPASA - Ferrovia Paulista S.A. pelo transporte do entulho da cidade de Ribeirão Preto até Campinas.
- À Holdercim/ Aciminas pelo fornecimento do cimento utilizado na pesquisa e pela realização dos ensaios de permeabilidade e compressão.
- À L. A. Falcão Bauer pelo empréstimo das fôrmas para a confecção dos corpos de prova, e pela realização dos ensaios de abrasão.
- Aos professores e funcionários da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp pela colaboração na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	iii
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	xiii
“ABSTRACT”	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 HISTÓRICO	6
3.2 DEFINIÇÕES	7
3.3 A QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	9
3.4 O DESPERDÍCIO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL	12
3.5 A GERAÇÃO DE RESÍDUOS	17
3.6 O PROFISSIONAL E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS	24
3.7 DESPESAS GERADAS PELO ENTULHO	27

3.8	A RECICLAGEM E OS INVESTIMENTOS	28
3.9	OS INCENTIVOS À RECICLAGEM.....	31
3.10	USINAS DE RECICLAGEM DE ENTULHO.....	34
3.10.1	A USINA DE RECICLAGEM DE RIBEIRÃO PRETO.....	41
3.10.1.1	LINHA DE PRODUÇÃO.....	41
3.10.1.2	EQUIPAMENTO DE MOAGEM.....	42
3.10.1.3	O DESTINO DA PRODUÇÃO.....	43
3.10.2	MINI USINAS.....	44
3.11	PESQUISAS SOBRE A RECICLAGEM.....	45
3.12	CONCLUSÃO	69
4	METODOLOGIA.....	71
4.1	COLETA DAS AMOSTRAS DO ENTULHO.....	73
4.1.1	LOCAL DA AMOSTRAGEM.....	73
4.1.2	NÚMERO DE COLETAS.....	73
4.1.3	FORMA DE COLETA	74
4.1.4	QUANTIDADE COLETADA.....	74
4.1.5	ARMAZENAMENTO.....	74
4.2	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO RESÍDUO	75
4.2.1	QUANTIDADE DE RESÍDUO AVALIADA.....	75
4.2.2	GRANULOMETRIA ANALISADA.....	75
4.2.3	METODOLOGIA UTILIZADA.....	75
4.3	CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO	76
4.3.1	PENEIRAS UTILIZADAS.....	76
4.3.2	QUANTIDADE DE RESÍDUO AVALIADA.....	77
4.3.3	METODOLOGIA UTILIZADA.....	77
4.4	DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO ENTULHO.....	78
4.4.1	MATERIAL ANALISADO.....	78

4.5	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	78
4.5.1	MATERIAL UTILIZADO.....	78
4.5.1.1	MATERIAL AGLOMERANTE.....	79
4.5.1.2	AGREGADO	79
4.5.1.3	GRANULOMETRIA.....	79
4.5.1.4	DIMENSÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	81
4.5.1.5	TRAÇOS UTILIZADOS	81
4.5.1.6	RELAÇÃO ÁGUA/ CIMENTO	82
4.5.1.7	QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA.....	82
4.5.1.8	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	83
4.6	ENSAIOS DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO SIMPLES	85
4.7	ENSAIOS DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO AO DESGASTE POR ABRASÃO.....	86
4.8	ENSAIOS DA PERMEABILIDADE DO CONCRETO	86
5	RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	87
5.1	COLETA DAS AMOSTRAS.....	87
5.2	CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO RESÍDUO.....	88
5.3	CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	91
5.3.1	PORCENTAGEM RETIDA	92
5.3.2	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA.....	93
5.3.2.1	DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA.....	94
5.3.2.2	MÓDULO DE FINURA	94
5.3.2.3	CURVA GRANULOMÉTRICA.....	96
5.3.2.4	AGREGADO MIÚDO.....	97
5.3.2.5	AGREGADO GRAÚDO.....	98
5.4	MASSA ESPECÍFICA APARENTE.....	98
5.5	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	99

5.6	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO SIMPLES.....	103
5.6.1	FASE INICIAL	103
5.6.2	FASE FINAL	104
5.6.2.1	RESISTÊNCIA AOS 28 DIAS	104
5.6.2.2	RESISTÊNCIA AOS 34 DIAS (CORPOS DE PROVA PARA TESTES DE ABRASÃO).....	107
5.6.2.3	RESISTÊNCIA AOS 60 DIAS	108
5.7	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO AO DESGASTE POR ABRASÃO	109
5.8	DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO CONCRETO	111
5.9	CURVA DE ABRAMS.....	113
6	CONCLUSÕES	114
	ANEXOS	118
	ANEXO A - FOTOS.....	119
	ANEXO B - RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS	123
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
	BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS.....	139

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	TOTAL DE RESÍDUOS DE C&D E PORCENTAGENS DISPOSTAS E RECICLADAS NA HOLANDA (CONCRETE, 1993)	41
FIGURA 2 -	DIAGRAMA DE FLUXO DE MASSA DE UMA INSTALAÇÃO DE BENEFICIAMENTO, SEGUNDO OFFERMANN, 1987.	44
FIGURA 3 -	FLUXOGRAMA DO PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	72
FIGURA 4 -	PORCENTAGEM MÉDIA DOS CONSTITUINTES DO ENTULHO ANALISADO NA CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA.....	89
FIGURA 5 -	PORCENTAGEM DOS MATERIAIS PRESENTES NO ENTULHO EM CADA AMOSTRA ANALISADA	90
FIGURA 6 -	PORCENTAGEM DO ENTULHO RETIDO NAS PENEIRAS DA SÉRIE NORMAL	93
FIGURA 7 -	PORCENTAGEM ACUMULADA DO ENTULHO RETIDO NAS PENEIRAS DA SÉRIE NORMAL.....	95
FIGURA 8 -	CURVAS GRANULOMÉTRICAS DAS AMOSTRAS ESTUDADAS (% ACUMULADA).....	96
FIGURA 9 -	COMPORTAMENTO DA CONSISTÊNCIA, COM O AUMENTO DO CONSUMO DE CIMENTO	102
FIGURA 10 -	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS.....	104
FIGURA 11 -	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS VALORES MÉDIOS	105
FIGURA 12 -	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 34 DIAS PARA OS CPS UTILIZADOS NO ENSAIO DE ABRASÃO - VALORES RELATIVOS	107
FIGURA 13 -	EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 E 60 DIAS.	108
FIGURA 14 -	VALORES OBSERVADOS NO ENSAIO DE DESGASTE À ABRASÃO.....	110

FIGURA 15 - VALORES MÉDIOS DOS COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE KT	112
FIGURA 16 - CURVA DE ABRAMS	113
FIGURA B1 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO ENTULHO - AMOSTRA A	131
FIGURA B2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO ENTULHO - AMOSTRA B	131
FIGURA B3 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO ENTULHO - AMOSTRA C	132
FIGURA B4 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS DO ENTULHO - AMOSTRA D	132

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	IMPACTO DA NÃO QUALIDADE (TOTAL) NO CUSTO GLOBAL DA CONSTRUÇÃO.....	9
TABELA 2 -	IMPACTO DO DESPERDÍCIO DE MATERIAIS NO CUSTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA.....	14
TABELA 3 -	ÍNDICES DE DESPERDÍCIO DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO (% DA MASSA DE MATERIAIS COLOCADA EM CANTEIRO)	15
TABELA 4 -	OCORRÊNCIA DE DESPERDÍCIOS NA CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL DE ALGUNS PAÍSES (% EM MASSA).....	15
TABELA 5 -	IMPACTO ESTIMADO DA FALTA DE QUALIDADE NO CUSTO DA OBRA.....	16
TABELA 6 -	ÍNDICES DE PERDAS LEVANTADOS POR PINTO (1989)	18
TABELA 7 -	PRODUÇÃO DE ENTULHO EM OBRAS DE EDIFÍCIOS DE APARTAMENTOS.....	19
TABELA 8 -	ÍNDICES DE DESPERDÍCIOS AVALIADOS POR SOIBELMAN.....	20
TABELA 9 -	PRODUÇÃO DE ENTULHO NA ALEMANHA	21
TABELA 10 -	PRODUÇÃO DE RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO.....	22
TABELA 11 -	COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO.....	23
TABELA 12 -	GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E POSSIBILIDADES DE REUTILIZAÇÃO, NAS PRINCIPAIS CAPITAIS BRASILEIRAS.	24
TABELA 13 -	QUANTIDADE DE RESÍDUOS DE C&D PROCESSADA NA HOLANDA.....	40
TABELA 14 -	RESISTÊNCIA DA ZONA DE TRANSIÇÃO TESTADA POR YANNAS	45
TABELA 15 -	PROPORÇÃO DAS MISTURAS DOS CONCRETOS ORIGINAIS.....	46
TABELA 16 -	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ORIGINAL E DO OBTIDO COM AGREGADO RECICLADO (MPA).....	47
TABELA 17 -	PROPRIEDADES DOS AGREGADOS NATURAIS E RECICLADOS.	48
TABELA 18 -	PROPORÇÃO DAS MISTURAS ESTUDADAS POR HANSEN E BØEGH.....	48

TABELA 19 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO ORIGINAL E DO OBTIDO COM AGREGADO RECICLADO	49
TABELA 20 - MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO ORIGINAL E DO OBTIDO COM AGREGADO RECICLADO (GPA).....	49
TABELA 21 - RETRAÇÃO DO CONCRETO ORIGINAL E DO OBTIDO COM AGREGADO RECICLADO DEPOIS DE 440 DIAS A 40% DE UMIDADE RELATIVA E 25°C	50
TABELA 22 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS DAS ARGAMASSAS TESTADAS	51
TABELA 23 - POSSIBILIDADES DE EMPREGO DE ENTULHO DE CONSTRUÇÃO	53
TABELA 24 - MISTURAS UTILIZADAS PARA A PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS.....	58
TABELA 25 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS MISTURAS TESTADAS.....	59
TABELA 26 - TESTES COM ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM ENTULHO - TESTIN	60
TABELA 27 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO ARRANCAMENTO	60
TABELA 28 - ENSAIO DE PERMEABILIDADE.....	61
TABELA 29 - TESTES COM ARGAMASSAS PRODUZIDAS COM ENTULHO - BENTOTEC	61
TABELA 30 - PROPORÇÃO DAS MISTURAS DE ARGAMASSAS (EM VOLUME).....	63
TABELA 31 - VALORES RELATIVOS DA RETENÇÃO DE ÁGUA MEDIDA NAS MISTURAS	63
TABELA 32 - COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS DAS MISTURAS ANALISADAS	64
TABELA 33 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS UTILIZADOS NA PESQUISA DE HAMASSAKI, SBRIGHI E FLORINDO.....	65
TABELA 34 - COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DAS ARGAMASSAS.....	66
TABELA 35 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE CORPOS DE PROVA DE ARGAMASSA CONFECCIONADA COM ENTULHO DE MATERIAL CERÂMICO.....	67
TABELA 36 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE ARGAMASSA CONFECCIONADA COM DIFERENTES TIPOS DE ENTULHO.....	68
TABELA 37 - DATAS DAS COLETAS E DENOMINAÇÃO DAS AMOSTRAS OBTIDAS.....	74
TABELA 38 - PENEIRAS UTILIZADAS NA CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA	76
TABELA 39 - QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA UTILIZADOS NA FASE INICIAL	83
TABELA 40 - QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA CONFECCIONADOS COM ENTULHO, UTILIZADOS NA FASE FINAL	83

TABELA 41 - QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA DE REFERÊNCIA, UTILIZADOS NA FASE FINAL.....	84
TABELA 42 - QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA ROMPIDOS NA FASE FINAL	85
TABELA 43 - PORCENTAGEM DOS MATERIAIS PRESENTES NO ENTULHO EM CADA AMOSTRA ANALISADA	89
TABELA 44 - PORCENTAGEM DO ENTULHO RETIDO NAS PENEIRAS DA SÉRIE NORMAL	92
TABELA 45 - PERDA DE MASSA DAS AMOSTRAS NA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (%)	93
TABELA 46 - PORCENTAGEM ACUMULADA DO ENTULHO RETIDO NAS PENEIRAS DA SÉRIE NORMAL E INTERMEDIÁRIA.....	94
TABELA 47 - PORCENTAGEM ACUMULADA DO ENTULHO RETIDO NAS PENEIRAS DA SÉRIE NORMAL E INTERMEDIÁRIA.....	97
TABELA 48 - CLASSIFICAÇÃO DO ENTULHO DE ACORDO COM OS LIMITES ESTABELECIDOS PELA NBR 7211.....	97
TABELA 49 - REPRESENTAÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS ZONAS SEGUNDO ABNT (1983).....	98
TABELA 50 - MASSA ESPECÍFICA DAS AMOSTRAS DO ENTULHO ANALISADO.....	99
TABELA 51 - RESULTADOS DA CONSISTÊNCIA E DA RELAÇÃO A/C, PARA OS CONCRETOS PRODUZIDOS NA FASE INICIAL.....	100
TABELA 52 - RESULTADOS DA CONSISTÊNCIA E DA RELAÇÃO A/C, PARA OS CONCRETOS PRODUZIDOS NA FASE FINAL.....	101
TABELA 53 - RESULTADOS DA RELAÇÃO A/C, PARA OS CONCRETOS PRODUZIDOS NA FASE FINAL - ABRASÃO (TRAÇO 1:5).....	102
TABELA 54 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS ANÁLISE COMPARATIVA - RESISTÊNCIAS MÉDIAS	106
TABELA 55 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS ANÁLISE COMPARATIVA - RESISTÊNCIAS MÁXIMAS.....	106
TABELA 56 - DESGASTE OBSERVADO NO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO - TRAÇO 1:5.....	110
TABELA 57 - VALORES DOS COEFICIENTES DE PERMEABILIDADE KT OBTIDOS (10^{-16} m ²).....	111
TABELA 58 - CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA SUPERFÍCIE DO CONCRETO.....	112
TABELA B1 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO ENTULHO. AGREGADO MIÚDO - AMOSTRA A	124
TABELA B2 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO ENTULHO. AGREGADO MIÚDO - AMOSTRA B	124

TABELA B3 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO ENTULHO. AGREGADO MIÚDO - AMOSTRA C	124
TABELA B4 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO ENTULHO. AGREGADO MIÚDO - AMOSTRA D	124
TABELA B5 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO ENTULHO. AGREGADO GRAÚDO, AMOSTRA A	125
TABELA B6 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO ENTULHO. AGREGADO GRAÚDO - AMOSTRA B	125
TABELA B7 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO ENTULHO. AGREGADO GRAÚDO - AMOSTRA C	125
TABELA B8 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO ENTULHO. AGREGADO GRAÚDO - AMOSTRA D	126
TABELA B9 - ANÁLISE QUALITATIVA DO ENTULHO - AMOSTRA A	126
TABELA B10 - ANÁLISE QUALITATIVA DO ENTULHO - AMOSTRA B	126
TABELA B11 - ANÁLISE QUALITATIVA DO ENTULHO - AMOSTRA C	126
TABELA B12 - ANÁLISE QUALITATIVA DO ENTULHO - AMOSTRA D	127
TABELA B13 - MASSA ESPECÍFICA UNITÁRIA DO ENTULHO EM CADA AMOSTRA COLETADA	127
TABELA B14 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS - FASE INICIAL	127
TABELA B15 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - FASE FINAL - TRAÇO 1:3	128
TABELA B16 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - FASE FINAL - TRAÇO 1:5	128
TABELA B17 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS - FASE FINAL - TRAÇO 1:7	128
TABELA B18 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 34 DIAS - FASE FINAL - TRAÇO 1:5	129
TABELA B19 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 60 DIAS - FASE FINAL - TRAÇO 1:3	129
TABELA B20 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 60 DIAS - FASE FINAL - TRAÇO 1:5	129
TABELA B21 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 60 DIAS - FASE FINAL - TRAÇO 1:7	130
TABELA B22 - VALORES DAS PROFUNDIDADES TEÓRICAS DE PENETRAÇÃO OBTIDAS NO ENSAIO DE PERMEABILIDADE (mm)	130

RESUMO

Os resíduos produzidos pela indústria da construção civil passam, cada vez mais, a serem vistos como uma fonte alternativa de matéria prima, a ser reutilizada no setor. Dessa forma, incentivando esse processo e oferecendo bases científicas para o seu fortalecimento, realizou-se um estudo com o objetivo de analisar a reciclagem da parte mineral do entulho, utilizando-a como agregado na confecção do concreto. O resíduo utilizado, proveniente de uma usina de reciclagem de entulho, foi analisado granulométrica e qualitativamente, de modo a ser classificado como um agregado. Com esse material, produziu-se concreto em diferentes traços e relações água/ cimento, que foram ensaiados à compressão simples, à abrasão e à permeabilidade, em idades distintas. Os testes mostraram que, à medida que se diminuiu o consumo do cimento, a resistência à compressão se aproximou dos valores obtidos pelo concreto de referência, enquanto que a resistência à abrasão mostrou-se melhor em todos os casos onde se usou entulho como agregado. Os resultados do trabalho permitiram concluir que o entulho pode ser utilizado como agregado, na confecção de concreto não estrutural destinados à infra-estrutura urbana.

Palavras chave: reciclagem, reaproveitamento, resíduos de C & D, entulho, materiais de construção, agregados, concreto.

“ABSTRACT”

The waste generated by the civil engineering industry has been seen on an increasing form as an alternative source of raw material to be used in this sector. Therefore, giving an incentive to this process and offering scientific data to its strengthening, it was studied the recycling of the mineral part of construction and demolition (C&D) wastes, and its use as concrete aggregate. The waste was got in a MFR (materials recovery facilities) and than it was analized according to the size and the nature of its particles. With this material it was produced concrete with differents amounts of cement, aggregate and water/ cement ratio, which were tested to compression, abrasion and permeability, at different ages. The tests have shown that, with the decrease of the cemente rate, the compressive strength was near to the reference concrete. The abrasion resistance was higher than conventional concrete in all analized cases. The experimental results indicated that the wastes of C&D can be used like aggregate to the production of no reinforced concrete to urban infra structure.

Key words: recycling, wastes of C&D, debris, building materials, aggregates, concrete.

1 INTRODUÇÃO

O processo de desenvolvimento da economia mundial, do final da década passada até os dias atuais, tem inserido nas empresas de um modo geral, novos conceitos de administração e gerenciamento. Estas mudanças acabaram por implantar um anseio pela qualidade, tanto do ponto de vista dos consumidores, que aprenderam a reivindicar seus direitos e exigir pelo que estão pagando, como pelo lado dos produtores, que cada vez mais se preocupam com a concorrência, agora acelerada pela tendência de globalização da economia.

Também influenciada por este processo, a indústria da construção civil passa a dar destaque às questões relacionadas à qualidade, reanalizando e modificando suas tecnologias e seus métodos de produção e gerenciamento.

As características ainda marcantes, em grande parte do setor, continuam sendo as falhas no gerenciamento, a baixa produtividade, e as perdas de tempo e de materiais, o que contribui para que o índice de desperdício permaneça próximo dos históricos 30%. Porém, algumas empresas que se posicionaram em busca da conquista de qualidade, começam a apresentar resultados promissores, como o aumento da produtividade e a redução do desperdício. São apenas os primeiros passos, exemplos pioneiros e localizados, que necessitam ser seguidos e aperfeiçoados pela construção civil de um modo geral, desde as pequenas até às grandes empresas.

Como a intenção principal é a redução de custos, as construtoras estão aliando às novas formas de economizar, preconizadas pelos métodos de qualidade, a reciclagem do resíduo que ainda é produzido.

Ao entulho sempre foi dispensado o mesmo tratamento dado ao lixo. Algo que se pode vender se houver alguém disposto a pagar por ele, ou em caso contrário, paga-se a alguém para levá-lo, sem se preocupar sobre o destino que lhe será dado. Isto sempre foi facilmente resolvido pelos transportadores de resíduos que acabam jogando o material em locais nem sempre permitidos. O resultado ainda pode ser visto nos bota-foras clandestinos e na degradação de áreas urbanas: rios e córregos assoreados, bueiros e galerias entupidos e, conseqüentemente, enchentes em vias marginais, que acabam comprometendo a qualidade de vida da sociedade.

Felizmente, um processo de conscientização ambiental começa a se instalar no país, e no mundo todo. Embora muitos movimentos constituam apenas um artifício político ou um simples modismo, existem iniciativas boas e reais, que começam a produzir resultados concretos.

O significativo aumento desta consciência ambiental, que aos poucos começa a fazer parte de nosso dia-a-dia, somado ao aumento dos custos, e à oposição pública para a instalação de novos aterros, está fazendo não só as empresas, mas também à administração pública, reavaliarem suas práticas.

Os resíduos de construção e demolição (C&D) respondem por uma significativa parcela dos resíduos sólidos municipais. Gerenciá-los, numa grande cidade, é muito oneroso e difícil, e a tendência é que estas dificuldades aumentem na mesma proporção do volume gerado. Velhos aterros de inertes estão rapidamente sendo preenchidos e, locais para a implantação de novos estão se tornando cada vez mais escassos e afastados das cidades.

Nos EUA, a produção e disposição de resíduos, estão se tornando ainda mais problemáticas, com as novas regulamentações sobre o assunto. Novas descobertas sobre a toxicidade de certos materiais de construção (como a madeira tratada), têm causado reivindicações de aumento na segurança e melhores salários para os trabalhadores nos aterros. Cada vez mais, são necessárias alternativas mais amplas e tecnologicamente complexas.

No Brasil, algumas prefeituras, tentando solucionar o problema, estão partindo para a reciclagem dos entulhos em usinas montadas com essa finalidade. As primeiras a serem implantadas, como a de Itatinga, na cidade de São Paulo, e a de Londrina, no Paraná, não tiveram o efeito esperado devido a erros de planejamento, o que as tornaram ociosas. Mas existem exemplos com sucesso, como o da cidade de Belo Horizonte, MG, que iniciou um programa de reciclagem de entulho, incluindo a instalação de 4 usinas de reciclagem. A primeira delas está operando eficientemente desde novembro de 1995. Ribeirão Preto, e São José dos Campos, ambas no interior de São Paulo, também terão, em breve, suas usinas de reciclagem, planejadas pelos mesmos profissionais da cidade mineira.

Nestas usinas, blocos, argamassa dura, cerâmica, areia, pedra, concreto, enfim, a fração mineral do entulho, exceto o gesso, é reaproveitável, podendo se transformar em argamassas, sub-base de pavimentação, blocos de alvenaria, material para contenção de encostas, etc. Tudo isso contribuindo para a preservação do meio ambiente e da qualidade de vida nas cidades.

Por mais que haja uma constante reavaliação para o aperfeiçoamento dos processos construtivos, de forma a reduzir os custos e a quantidade de material desperdiçado, não há nenhuma mágica que possa ser feita, sempre haverá algo inevitavelmente perdido. Por isso, existe a necessidade de se encontrar soluções para o problema dos resíduos, com formas práticas de reciclagem na própria obra ou em usinas apropriadas. A reciclagem, além de proporcionar melhorias significativas do ponto de vista ambiental, introduz no mercado um novo material com grande potencialidade de uso, transformando o entulho, novamente, em matéria prima.

Assim, pesquisas sobre os materiais confeccionados a partir da fração mineral do entulho, tornam-se úteis, tanto para a comprovação de sua qualidade, como para a divulgação do sucesso dessa prática.

2 OBJETIVOS

A realização deste trabalho, visa alcançar os seguintes objetivos:

2.1 OBJETIVO GERAL

No âmbito geral, a proposta desta pesquisa é analisar a reciclagem da parte mineral dos resíduos sólidos produzidos pela indústria da construção civil, avaliando a utilização deste material como agregado para a confecção de concreto não estrutural, passível de ser utilizado em guias, sarjetas, bocas de lobo, lajotas para pavimentos, mourões, etc.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para se realizar a proposta estabelecida, especifica-se abaixo, as etapas a serem executadas:

- analisar o comportamento deste resíduo, como agregado, e
- estudar a resistência e durabilidade do concreto confeccionado a partir da fração mineral do entulho reciclado, através de diferentes composições de traços e relações água/ cimento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Seja pela falta de recursos, ou por ideologias políticas (muitas vezes insensatas), o saneamento nunca foi prioridade para os dirigentes, sejam eles públicos ou privados. Ele sempre envolveu grandes investimentos e quase nunca trouxe um retorno financeiro ou político fascinante.

No entanto, lentamente uma consciência ambiental, em relação aos resíduos de construção e demolição, vai se difundindo pelos meios governantes pelas mais diferentes razões: cidades que não possuem mais espaço para armazenar seus resíduos, perspectivas de ganhos no orçamento com a reciclagem do entulho, empresários que começam a perceber que investir na proteção do meio ambiente é um bom negócio para o “marketing” de sua empresa e, é claro, profissionais conscientes que realmente se preocupam com a preservação da natureza.

Dessa forma, à procura de caminhos para solucionar os problemas da poluição ambiental causada pelo desenvolvimento, cada vez mais pesquisadores vêm se empenhando para que a tecnologia e a natureza caminhem de mãos dadas.

Esta revisão partiu de levantamentos realizados em bases, ou bancos de dados do Engineering Index, e do Materials Abstracts Collection, analisando um período de 8 anos, compreendidos entre 1989 e 1996. A partir do material conseguido, utilizou-se as referências bibliográficas destes próprios documentos, e o Science Citation Index, para se chegar a outras publicações sobre o assunto tema. Além disso, a troca de informações com pesquisadores da mesma área, também permitiu a obtenção de novos artigos.

3.1 HISTÓRICO

O reaproveitamento de resíduos industriais pela indústria da construção não é algo recente. Subprodutos do carvão, como as cinzas volantes, têm sido usadas extensivamente no concreto de cimento Portland, há aproximadamente 50 anos, segundo KELLY e WILLIAMS (1995).

No entanto, as pesquisas relacionadas ao reaproveitamento de materiais na construção civil, de acordo com CINCOTTO (1983), evidenciaram-se, a partir de 1968, em simpósios realizados sobre o tema, e com a criação após 1974, de comitês de entidades normatizadoras, como o Comitê E-38, criado pela ASTM (American Society for Testing and Materials), com objetivos relacionados ao desenvolvimento de métodos de recuperação de materiais e energia; o Comitê 37-DRC, criado pela RILEM (Réunion International des Laboratoires d'Essais et Matériaux), voltado para os resíduos de demolição, e o Comitê de "Pesquisa em Materiais Residuais e Subprodutos para Construção de Rodovias" criado pela OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), com o objetivo de *"promover o uso mais econômico dos materiais na construção de rodovias e examinar a pesquisa e a exigência dos países membros da OECD"*.

Na década de 80, HANSEN e NARUD (1983), e HANSEN e BØEGH (1985), começaram a pesquisar a resistência de concreto feito a partir de concreto e agregado reciclados. No final da mesma década, YODA et al. (1988), apresentaram trabalhos sobre o assunto no 2º RILEM - Simpósio Internacional sobre Demolição e Reuso de Concreto e Alvenaria, em Tokyo, Japão.

No Brasil, o assunto começou ser tema de pesquisas em meados dos anos 80, com PINTO (1986), que prossegue com estudos sobre o assunto. LEVY e HELENE (1995 e 1996), e HAMASSAKI, SBRIGHI e FLORINDO (1996), apresentaram trabalhos sobre a reciclagem de entulho, onde analisam seu uso na confecção de argamassas.

SILVA, SOUZA e SILVA (1996) estudaram a utilização da fração cerâmica do entulho como substituto de uma parcela do material aglomerante (cimento).

3.2 DEFINIÇÕES

A seguir, serão definidos alguns termos e expressões utilizadas nesta pesquisa, que poderiam de alguma forma, causar dúvidas quanto à sua compreensão.

- **Resíduos de construção e demolição (C&D):** *“Resíduos de construção e demolição são resíduos sólidos não contaminados, provenientes da construção, reforma, reparos e demolição de estruturas e estradas, e resíduos sólidos não contaminados de vegetação, resultantes da limpeza e escavação de solos. Como resíduos, incluem-se, mas não limitam-se, blocos, concreto e outros materiais de alvenaria, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, encanamentos, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos que não camuflem outros resíduos, fiação elétrica e equipamentos que não contenham líquidos perigosos e metais que estiverem num dos itens acima.”* - Regulamentações de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do Estado de Nova York, 6NYCRR, part. 360 (BIOCYCLE, 1990);
- **Resíduos de construção:** *“Resíduos de edificações, reformas e reparos de residências individuais, construções comerciais, e outras estruturas, são classificadas como resíduos de construção.”* (TCHOBANOGLIOUS, THEISEN, ELIASSEN 1977);
- **Resíduos de demolição:** *“Resíduos da destruição de construções e outras estruturas são classificados de resíduos de demolição.”* (TCHOBANOGLIOUS, THEISEN, ELIASSEN, 1977);
- **Facilities:** abreviatura do nome dado às usinas de reciclagem de entulho nos EUA, onde elas são chamadas de “MRFs (materials recovery facilities)”. Algumas entidades norte americanas preferem usar o termo “*transfer stations*” para eliminar a possibilidade de confusão com as usinas de reciclagem de resíduo sólido municipal, que são chamadas de “MSW (municipal solid wastes) MRFs”. (GPI, 1996; GNR, 1996);

- **Reciclagem primária:** *“re-emprego ou reutilização de um produto para a mesma finalidade que o gerou.”* (GPI, 1996; GNR, 1996);
- **Reciclagem secundária:** *“re-emprego ou reutilização de um produto para uma finalidade que não a mesma que o gerou.”* (GPI, 1996; GNR, 1996);
- **Efeito pozolânico:** reação entre partículas reativas extremamente finas, e o Ca(OH)_2 proveniente da reação de hidratação do cimento¹;
- **Quarteamento:** *“processo de mistura pelo que uma amostra bruta é dividida em quatro partes iguais, sendo tomadas duas partes opostas entre si para constituir uma nova amostra e descartadas as partes restantes. As partes não descartadas são misturadas totalmente e o processo de quarteamento é repetido até que se obtenha o volume desejado”* (ABNT, 1987a);
- **Série normal e série intermediária:** *“conjunto de peneiras sucessivas, que atendem à NBR 5734, com as seguintes aberturas”,* em milímetros (ABNT, 1987b):

Série normal	76	38	19	9,5	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15
Série intermediária	64	50	32	25	12,5	6,3				

- **Dimensão máxima característica:** *“grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em mm, da malha da peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa”* (ABNT, 1987b);
- **Módulo de finura:** *“soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100”* (ABNT, 1987b);

¹ Paulon, V. A. - Tecnologia do Concreto de Elevado Desempenho (anotações de aula): IC904 - Tópicos em Engenharia de Estruturas IV - 2º Semestre, 1995.

3.3 A QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A indústria da construção civil sempre foi caracterizada pela carência de qualidade em seus produtos e por uma filosofia altamente esbanjadora. Embora os administradores do setor tenham por dever sempre otimizar recursos e portanto, minimizar perdas, os resíduos produzidos pela construção, nem sempre foram considerados uma variável importante na equação dos orçamentos. Tanto no Brasil, como em outros países, tais resultados sempre acabaram influenciando no custo da construção.

A Tabela 1, mostra, segundo PINTO (1995), o impacto que o desperdício e a falta de qualidade podem provocar no custo da construção civil.

TABELA 1 - Impacto da não qualidade (total) no custo global da construção

PAÍS	PESQUISADOR	% DO CUSTO TOTAL
Bélgica	Cnudde/ CSTC (1988)	17 %
França	Motteu e Cnudde/ CSTC (1989)	12 %
Brasil	Picchi/ USP (1993)	30 %

Fonte: PINTO, 1995.

De acordo com PICCHI (1993), no mundo todo, a construção civil absorveu mais tardiamente os conceitos e metodologias da qualidade, que surgiram, via de regra em indústrias seriadas, tais como mecânica e eletrônica, que possuem décadas de evolução nestes setores.

Agora, preocupados com a concorrência e até influenciados pelo intenso movimento mundial na busca pela competitividade, o setor começou a perceber a necessidade de uma avaliação dos métodos e técnicas que há muito tempo vêm sendo empregados pela construção civil. Dessa forma, mesmo que atrasado, o construtor brasileiro começa a incluir na sua lista de objetivos, temas que abordam a qualidade.

Para PINTO e PINTO (1995), no entanto, características peculiares do setor, como um forte componente de trabalho artesanal, pedem uma adaptação

prévia, de qualquer que seja o programa de qualidade a ser implantado, para as condições concretas do setor. Os autores afirmam que: *“a aplicação pura e simples dos preceitos traçados nas diversas teorias pela qualidade certamente não surte efeito no setor, senão o de propiciar uma sensação estéril de estar ‘na moda’ com a ‘onda da qualidade’”*.

Ainda segundo esses autores, dois procedimentos são inevitáveis para a busca da qualidade: o primeiro é reexaminar e modificar sistemáticas de trabalho e tecnologias empregadas; e o segundo é a persistência, que deve ser adotada principalmente pelo corpo dirigente da empresa. Concluindo, os autores consideram importante compreender que, para se obter resultados satisfatórios na melhoria da qualidade na construção civil, é necessário a adoção de pequenas soluções conjuntas que, em somatória, construirão a qualidade da empresa.

Dentro deste princípio, conforme CONSTRUÇÃO (1996b), algumas empresas vêm há alguns anos implementando programas de qualidade em suas estruturas produtivas. A construtora de médio porte, Lacerda Chaves, de Ribeirão Preto, interior de São Paulo, por exemplo, tornou-se em dezembro de 1995 a primeira construtora da América Latina a possuir o certificado ISO 9002, da International Standardization Organization. Com a implementação da normatização, a produtividade dobrou e o índice de perdas de materiais caiu, segundo a empresa, de 30 % para 8%.

Vale ressaltar que, como não foram divulgados os métodos utilizados para a obtenção destes índices, não podem ser utilizados, cientificamente, para fazer comparações.

Paralelo a estes fatos, o governo e a iniciativa privada passam a cobrar certificação, manuais de qualidade e atestados de capacitação, para contratar construtoras e serviços. O engenheiro C. Saes, gerente da Divisão de Gestão da Qualidade de uma empresa que presta consultoria sobre a implantação de conceitos de qualidade, diz que este processo, pelo qual a indústria da construção civil está passando, é seletivo e as empresas que não se mobilizarem para a questão da qualidade podem estar condenadas, e até mesmo deixar de existir. Segundo Saes: *“o grande desperdício da construção civil não é de materiais, mão-*

de-obra ou tempo ocioso de equipamentos, mas de oportunidades de mudanças pelo empresário” (CONSTRUÇÃO, 1996c).

Para SKOYLES (1976), o importante é que seja fornecida mais educação e treinamento no manuseio e controle dos materiais. É preciso convencer os próprios trabalhadores da indústria da construção, e não apenas a diretoria, de todos os benefícios que a qualidade nos serviços pode causar. E este, segundo o autor, é um assunto que merece bastante atenção.

É importante também, que se tenha consciência das causas sociais que inegavelmente influenciam a qualidade dos serviços e o desperdício. É compreensível que um cidadão que não tem as mínimas condições de higiene e conforto nas instalações que a empresa lhe oferece, ou até mesmo em sua casa, não tenha muito zelo em seu ambiente de trabalho, ou com os materiais de seu patrão. De nada adianta tentar convencer um empregado (pelo menos para a maioria) que se ele agir desta ou daquela maneira, estará preservando uma jazida mineral ou ajudando a “sua” empresa a obter melhores índices de qualidade, se ele não ganhar nada em troca. Esta situação é especialmente verdadeira na indústria da construção civil, onde grande parte dos trabalhadores vêm das mais desfavorecidas classes sociais.

Portanto, não são apenas fatores técnicos como métodos construtivos, formas de estocagem, ou processos de qualidade total, que vão solucionar os problemas do desperdício e da falta da qualidade. Para que um trabalhador seja efetivamente conscientizado dos benefícios que a qualidade pode lhe proporcionar, é preciso que alguns itens na relação de trabalho da construção civil sejam repensados. Aspectos como a relação patrão-empregado (ou chefe-subordinado), a participação dos empregados nos lucros das empresas, e sobretudo a dignificação social dos trabalhadores, são fatores que, embora nem passem pela cabeça de muitos patrões e empresários, precisam começar a fazer parte de suas metas, principalmente no Brasil, com nossa séria e vergonhosa desigualdade social.

3.4 O DESPERDÍCIO NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Nos últimos anos, vários índices foram publicados com a intenção de se medir o grande desperdício de materiais que ocorre na indústria da construção civil. Isso algumas vezes acaba causando certa confusão pelo fato de não serem corretamente identificados, ou seja, não se sabe se representam índices de custos, volumes ou massas.

CEOTTO (1995), diz que o desperdício não pode ser medido somente pelo entulho produzido (embora o considere um ótimo indicador do nível de qualidade de uma empresa), pois seu custo é pequeno quando comparado ao custo total de uma obra. Para ele, grande parte das controvérsias a respeito da questão do desperdício na construção civil, reflete a adoção de diferentes referenciais, que segundo o autor são:

a) Quando a referência é a média do consumo do setor, a empresa que consumir insumos acima daquela média, terá desperdícios, enquanto que as demais não. Como ponto negativo, numa empresa onde os índices de consumos de insumos forem melhores que a média, teoricamente não haveria desperdícios, o que não é verdade;

b) No caso da referência ser o projeto, todo o consumo acima do previsto no orçamento, seria desperdício. Para Ceotto, embora coerente, esta posição leva a crer que basta fazer-se projetos excessivamente dimensionados, já incluindo os desperdícios, que assim os mesmos seriam reduzidos como num passe de mágica;

c) Quando a medição dos desperdícios é feita em relação a consumos ideais, a partir da adoção de determinada tecnologia construtiva disponível e em uso no mercado. Neste caso, *“bastaria uma mudança tecnológica que reduzisse consumos, para mudar o patamar de referência do setor e provocar aumento do nível de desperdício das empresas que não adotassem tal tecnologia”*.

Para Ceotto, é importante a escolha do referencial, para que não se chegue a dados inexpressivos do desperdício na construção civil, que contribui para a cultura secular do fatalismo, na qual o desperdício é inerente ao setor.

Realmente é até bem possível que os diferentes valores que denunciam as perdas ou desperdícios da construção civil, tenham sido obtidos utilizando-se referências e/ou metodologias distintas. No entanto, talvez haja haja alguns enganos em relação às três formas de referências citadas pelo autor.

No primeiro caso, o uso da *"média do consumo do setor"* não é propriamente um parâmetro para se medir o desperdício de uma empresa. Ele apenas permite que o consumo da empresa, ou de uma determinada obra, possa ser comparado com a média do setor. O que não implica necessariamente em nenhuma relação com desperdício real da empresa.

Talvez o referencial mais sensato seja mesmo o projeto. Quanto ao lado negativo citado por Ceotto, não há coerência nos argumentos expostos, pois se realmente uma empresa superdimensionar seus projeto, ela não estará preocupada de verdade com a redução das perdas, mas sim, apenas com sua imagem diante do mercado. Além do mais, o projeto perderá sua função que é a de dimensionar minimizando os custos, sem abrir mão da segurança. Entretanto, na grande maioria das vezes, as obras não saem como prescritas em seus projetos (isto já é um desperdício pois o projeto não teve a qualidade necessária para evitar os imprevistos) o que implica dizer que se medido dessa forma, o índice de desperdício estará mais próximo do real, quanto mais parecida com o projeto estiver a obra.

Na terceira forma, quando Ceotto se refere aos consumos ideais, talvez sem perceber, ele esteja se referindo ao próprio projeto, pois é ele que deve dizer qual é o consumo ideal para o processo construtivo que se utilizará. Quando ele diz sobre "...a mudança tecnológica ... para mudar o patamar de referência do setor..." dois pontos valem ser comentados:

- este fato seria solucionado caso se adotasse o projeto (um projeto de qualidade) como referência;
- fica claro tanto no item c, como no item a, citados por Ceotto, uma forma de pensamento muito comum no setor da construção civil, e da indústria em geral: a comparação com os concorrentes. A preocupação primordial dos proprietários,

parece não ser se existe ou não desperdício em suas empresas, mas sim, se as outras estão desperdiçando mais do que as suas. Se realmente for real este tipo de comportamento, levar-se-á muito mais tempo para eliminar o desperdício da construção civil.

Já SCHUCHOVSKI (1995), considera importante fazer distinção entre perdas e desperdícios. Segundo ele, as perdas de materiais, tempo e dinheiro, são decorrentes de diversos fatores, entre eles o desperdício puro e simples. Ele considera que o desperdício de 30 % preconizado pelo setor da construção civil, deve ser considerado como perdas, e apenas 3,5% (em relação ao custo final das obras) podem ser vistos como desperdícios (jogar fora por desídia, descuido, relaxamento e mau gerenciamento).

É correta a observação do autor, pois trata-se de denominações que representam processos diferentes dentro de um empreendimento, contudo, mesmo se o valor de 3,5% estiver correto (o que valores mostrados a seguir contestam - Tabela 2), os 30% de perdas não podem ser desprezados, pois ambos representam prejuízos causados pela falta de qualidade, e tanto “perdas” como “desperdícios” são aspectos negativos perante os custos de uma obra, e portanto, que se desejam eliminar.

Procurando elucidar os vários índices e valores relacionados às perdas do setor da construção civil, PINTO (1995) apresenta nas Tabelas 2 e 3, o impacto do desperdício no custo da construção, e o índice de desperdício de materiais, respectivamente.

TABELA 2 - Impacto do desperdício de materiais no custo da construção civil brasileira

Pinto/ UFSCar (1989)	6 %
Norie/ UFRGS (1993)	5% a 11,6%

Fonte: PINTO, 1995.

Pode-se visualizar na Tabela 3, que alguns índices referem-se apenas ao entulho gerado, portanto, o desperdício que acaba ficando na obra, como por

exemplo os aterros e as correção de desniveis em paredes, não foi considerado. Pinto chama a atenção para o fato de que este entulho produzido, costuma corresponder a apenas 50% da massa do material desperdiçado.

**TABELA 3 - Índices de desperdício de materiais na construção
(% da massa de materiais colocada em canteiro)**

PAÍS	PESQUISADOR	ÍNDICE
Reino Unido	Skoyles (1985)	10 %
Brasil	Pinto / UFSCar (1989)	20 %
Brasil *	Picchi/ USP (1993)	11 a 17 %
Hong Kong *	Polytechnic e H.K. Construction Association (1993)	15 a 22 % (187 kg/ m ²)
* Efetuou-se a medição apenas do entulho produzido		

Fonte: PINTO, 1995.

Na Tabela 4, o autor mostra que até mesmo em outros países as perdas de materiais são significantes, porém, bem menores que as identificadas nas pesquisas brasileiras.

TABELA 4 - Ocorrência de desperdícios na construção convencional de alguns países (% em massa)

MATERIAIS	Pinto Brasil (SP)	Norie Brasil (RS)	Skoyles Reino Unido	Hong kong	Usual em orçamentos
Aço	26,19	19,07	3,60	--	20
Cimento	33,11	84,13	12,00	--	15
Concreto	1,34	13,18	6,00	11,00	5
Areia	39,02	45,76	12,00	--	15
Argamassa	91,25	86,68	12,00	15,00	15
Tijolos e blocos	26,94	12,73	13,00	11,00	10

Fonte: PINTO, 1995.

Para PICCHI (1993), o grande desperdício na construção civil brasileira é real, e bem alto, se comparado a outros países. O autor cita, por exemplo, o grande desperdício de tempo no setor, que acaba influenciando diretamente na produtividade. Uma maneira de se analisar a produtividade da mão-de-obra de um

setor, é através da relação valor adicionado/ emprego. Dentro deste critério, analisando dados de 1987 fornecidos pelo Banco Mundial, Picchi observa que a produtividade da construção civil no Brasil é de US\$ 4.257 (valor adicionado/ emprego), e está abaixo da média dos países do seu nível de desenvolvimento, que é de US\$ 5.490. Segundo ele, a média de produtividade dos países mais desenvolvidos, é 4 vezes maior que a brasileira.

No mesmo trabalho, Picchi estima que o desperdício total, expresso em porcentagem do custo da obra, cujas origens são especificadas na Tabela 5, é da ordem de 30%. No entanto, aqui entra a observação de SHUCHOVSKI (1995). Seria mais sensato expressar esses valores como impacto da não qualidade no custo total da construção.

TABELA 5 - Impacto estimado da falta de qualidade no custo da obra

ORIGENS DO DESPERDÍCIO	DESPERDÍCIO ESTIMADO (% sobre o custo da obra)
Entulho gerado	5,0
Espessuras adicionais de argamassas	5,0
Dosagens de argamassa e concreto não otimizadas	2,0
Reparos e resserviços não computados no entulho	2,0
Projetos não otimizados	6,0
Perdas de produtividade (problemas de qualidade)	3,5
Custos devido a atrasos	1,5
Reparos em obras entregue a clientes	5,0
TOTAL	30,0

Fonte: PICCHI, 1993 (Modificada).

Além disso, vale ressaltar que a quantidade de tempo que a mão-de-obra do setor permanece parada esperando ordem (que corresponde a 35% do tempo teoricamente trabalhado) gera uma ociosidade que contribui, sozinha, para um acréscimo de 12% no custo total de um empreendimento, segundo PINTO e PINTO (1995). Se esse valor entrar no item "Perdas de produtividade" o valor total será ainda superior a 30%.

Quando o assunto é desperdício, perdas ou qualquer outro índice que represente o prejuízo computado pela indústria da construção civil, a polêmica e as controvérsias vêm à tona. Isto é perfeitamente compreensível uma vez que não existe uma normatização sobre a obtenção e a forma de representação destes valores. A obtenção de valores representativos das perdas e desperdícios, envolve a elaboração de metodologias bem estruturadas, com a participação de várias pessoas de forma a se obter um controle efetivo do que entra, do que sai, do que é utilizado e do que deveria ser utilizado.

Problemas como perdas de notas fiscais; a não conferência de materiais que chegam na obra; levantamentos realizados em apenas alguns estágios da construção; diferenças entre o imóvel construído e seu projeto, etc. na maioria das vezes não são previstos e acabam mascarando os resultados obtidos. É importante que outros trabalhos sejam feitos e se aprimore cada vez mais as metodologias a serem aplicadas. A seguir, serão apresentados os valores obtidos até hoje da quantidade de resíduos gerados.

3.5 A GERAÇÃO DE RESÍDUOS

O fato de muitos países se darem conta de que os métodos organizacionais e produtivos, na construção civil, precisam mudar, acontece não só devido ao elevado desperdício de tempo e materiais e seus conseqüentes e indesejados impactos nos custos finais, mas também porque as áreas urbanas destinadas a deposição de resíduos estão se tornando cada vez mais escassas.

Segundo PERA (1996), a produção anual de resíduos de construção e demolição, na Europa Ocidental chega a estar entre 0,7 e 1 tonelada por habitante, o que representa o dobro do resíduos sólidos municipais gerados naquela região.

De acordo com dados do Departamento de Limpeza Urbana da Prefeitura Municipal de Campinas (CAMPINAS, 1996), o município produz cerca de 1.800 t/dia de resíduos, que são lançados nos locais de “bota-foras”, o que representa a geração de 1,8 t/dia por habitante (população aproximada de 1 milhão de habitantes). Cerca de 70% desses resíduos são originados por residências ou

prédios em construção/ demolição, enquanto os 30% restantes constituem resíduos industriais que deveriam estar sendo tratados em unidades específicas.

PINTO (1989) estudou o desperdício em um edifício convencional, de 3.658 m² de área construída. A partir dos documentos fiscais, o autor levantou todos os materiais que entraram na obra. Foram feitos também, levantamentos a partir do projeto executivo e de medições no canteiro. Para uma massa projetada de 3.110 t (0,85 t/m²), foram adquiridas 3.678 t (1,0 t/m²) para a execução da obra, o que representou um desperdício de 18,3%. No seu estudo, foram feitas 213 remoções de entulho em 18 meses de obra, o que resulta numa média de 2,7 viagens ou 9,45 m³ por semana.

A Tabela 6 mostra os resultados da pesquisa de Pinto, revelando que as argamassas e seus constituintes, representaram cerca de 60% do material retirado do canteiro. Para a determinação da perda total, foram estimados o peso dos materiais previstos e o peso dos materiais adquiridos, resultando numa perda, em peso, de 18,26%, o que representa um acréscimo de 6% na expectativa do custo total, segundo o pesquisador.

TABELA 6 - Índices de perdas levantados por Pinto (1989)

MATERIAL OBSERVADO	ÍNDICE DE DESPERDÍCIOS (%)	
	REAL	USUAL
Madeiras em geral	47,45	15,00
Concreto usinado	1,34	5,00
Aço	26,19	20,00
Componentes de vedação	12,73	5,00
Cimento	33,11	15,00
Cal hidratada	101,94	15,00
Areia	39,02	15,00
Argamassa colante	86,68	10,00
Azulejos	9,55	10,00
Cerâmica de piso	7,32	10,00

Fonte: PINTO, 1989.

Vale ressaltar que alguns itens da Tabela 6, como a cal hidratada e a argamassa colante, são apresentados por Pinto com valores de perdas demasiadamente altos, chegando o primeiro a superar em duas vezes os valores previstos em projeto. Portanto, esses índices devem ser tomados com ressalvas, não podendo ser generalizados, já que se tratam de valores obtidos numa única obra.

PICCHI (1993), realizou um levantamento sobre o entulho produzido em três obras, entre 1986 e 1987. Em duas delas (A e B), o registro foi feito através da contagem das caçambas de entulho retiradas, e na terceira (C), a partir da análise de documentos fiscais, das empresas contratadas para retirar o resíduo da obra. Os resultados são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 - Produção de entulho em obras de edifícios de apartamentos

OBRA	Área Construída (m ²)	Duração da obra (meses)	Nº de viagens ^a	Volume de entulho (m ³)	Massa de entulho (t) ^b	Índice de geração (t/ m ²)	Perdas (%) ^c
A	7.619	17	173	606,5	727,80	0,095	11,2
B	7.982	15	202	707,7	849,24	0,107	12,6
C	13.581	16	--	1.615,0	1.938,00	0,145	17,1

^a Retiradas de caçambas estacionárias de 3,5 m³ cada.
Na obra C, o registro foi feito diariamente em m³;

^b Adotou-se massa específica do entulho de 1,2 t/ m³;

^c Quantidade de entulho produzida em relação a massa final projetada do edifício (adotada como 0,85 t/m²)

Fonte: Modificado de: PICCHI, 1993.

Segundo o autor, os valores médios encontrados para o volume de entulho produzido é de 0,1 m³/m², ou 100 l/m², o que representa 2 caminhões de 5 m³ para cada 100 m² construídos. Considerando a massa específica do resíduo como 1,2 t/m³ ele chegou a perda de 0,12 t/m² que corresponde a 15% da massa final do edifício.

A nível de observação, é importante deixar claro que Picchi não justifica, em seu trabalho, a utilização do valor unitário da massa projetada do edifício (apresentado nesta Tabela 7 como 0,85 t/m²). Se o mesmo foi adotado a partir da pesquisa de PINTO (1989), nada garante que as obras estudadas por cada

pesquisador possuam os mesmos valores. Além do mais, as metragens dos edifícios em cada trabalho são diferentes. Só em seu trabalho, um dos empreendimentos analisados por Picchi, possui mais do que o dobro de área construída que os demais.

Analisando as pesquisas de PINTO (1989) e de PICCHI (1993), pode-se estimar que o entulho gerado nas obras brasileiras que utilizam sistemas de construção convencionais, com estrutura independente, situa-se entre 10% e 20% da massa total do edifício, com variações em função do elemento de alvenaria utilizado e do grau de organização e controle da obra. Estes resultados porém, devem ser tomados com ressalvas, visto o reduzido número de obras analisadas e a concentração da pesquisa numa única região, no caso, a cidade de São Paulo.

Vale lembrar que, tanto os dados de Pinto como os de Picchi, foram levantados em construtoras que, apesar de utilizarem o processo convencional de construção, mantêm processos de controle de produção de resíduos, que geralmente não são adotados pela grande maioria de empresas existentes no setor.

Também analisando as ocorrências de desperdícios, SOIBELMAN (1993), estudou cinco obras de classe média alta, na cidade de Porto Alegre, RS. A Tabela 8 apresenta a relação entre as perdas e a quantidade de entulho produzido, para cada item avaliado.

TABELA 8 - Índices de desperdícios avaliados por Soibelman

MATERIAL	PERDAS ^(a)						PERDAS (%) ^b
	Obra A	Obra B	Obra C	Obra D	Obra E	MÉDIA	
Aço (t)	10,58	24,51	4,816	8,22	7,40	11,11	19,07
Cimento (t)	50,08	5,08	10,49	77,11	27,71	34,09	84,13
Concreto (m ³)	47,33	121,00	45,00	9,63	115,00	67,60	13,18
Areia (m ³)	54,82	33,00	20,00	291,00	27,00	85,16	45,76
Argamassa (m ³)	58,11	2,80	21,00	----	52,00	33,48	91,25
Tijolos Furados (un)	44.480	4.002	31.751	51.628	25.578	31.488	27,64
Tijolos Maciços (un)	21.932	8.156	3.242	29.804	15.121	15.651	26,94
^a Perdas medidas até a vistoria final (quadros 6.1 a 6.5, pág. 49 a 55)							
^b Índice de perdas médio, em relação à massa adquirida de cada material (quadro 6.6, pág. 59)							

Fonte: SOIBELMAN, 1993.

As construções analisadas pelo autor, empregaram tecnologias tradicionais: estrutura de concreto armado, paredes com blocos cerâmicos e revestimentos argamassados. O estudo ficou restrito ao cálculo das perdas de tijolos maciços, tijolos furados, concreto, aço, cimento, areia média e argamassa ou cal.

É importante salientar que, os valores dos desperdícios obtidos por Soibelman, não representam a quantidade de entulho produzido, porque eles não foram calculados medindo-se o entulho gerado, mas com base em valores teóricos de consumo utilizados em orçamentos, e pela quantidade de materiais adquiridos. Além do mais, a quantidade de materiais recebidos nem sempre é a que foi pedida, já que os fornecedores, muitas vezes, entregam menos materiais que os comprados. Dessa forma, como em muitas obras não se confere a entrega, esses valores apresentados pelo pesquisador, representam também o “material que não foi entregue” pelos fornecedores, e aquele que acabou ficando na obra na forma de perdas: aterros, espessuras excessivas de revestimentos, materiais usados de improviso, etc.

Na Alemanha, órgãos estatísticos trabalham, desde 1975, com os dados das quantidades de entulho de construção, de terra de escavação e de material gerados na manutenção de estradas, produzidos naquele país. Em 1980, o item “empresas produtoras e outras áreas” contabilizou um total de 141,2 milhões de toneladas de material proveniente das fontes acima citadas (Tabela 9). Esse valor representou o dobro do valor de 1975 (OFFERMANN, 1987).

TABELA 9 - Produção de Entulho na Alemanha

Tipo de Entulho	Empresa de construção (t x 10 ⁶)*	%	Empresas produtoras	
			(t x 10 ⁶)**	t/ hab***
Terra de escavação B	99,3	78,8	111,3	1,81
Entulho de construção Ba	14,4	11,4	16,1	0,26
Desmonte de estradas St	12,2	9,7	13,7	0,22
Grupo misto B/Ba/St	0,1	0,1	0,1	---
Total	126	100	141,2	2,29
* Fonte Statistisches Bundesamt, Wiesbaden				
** Distribuição projetada dos tipos de entulho				
*** 61,6 milhões de habitantes (1980)				

Fonte: OFFERMANN, 1987.

Segundo Offermann, a situação dos aterros e depósitos na Alemanha, também é caracterizada pela redução de seus números e pela diminuição da área total de deposição. Em decorrência, há um forte aumento dos custos de transporte e eliminação. Em razão disso, uma empresa de demolição numa área urbana praticamente não tem mais condições de remover o entulho de construção para um aterro.

Nos Estados Unidos, os dados sobre a geração de resíduos de C & D, também não são precisos, pois os dados existentes se baseiam em estudos que podem estar ultrapassados. Segundo A. Blakey, do Environmental Industry Associations (EIA), uma agência de proteção ambiental dos EUA, dados do congresso norte americano de 1988, indicava que 31,5 milhões de toneladas de resíduos de C & D, eram gerados cada ano, o que representava 22 % do total de resíduos sólidos depositados no ano de 1986 (WORLD WASTES, 1994).

De acordo com dados da Secretaria de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, da Universidade de Illinois, em Chicago, a Tabela 10 apresenta os dados da geração de resíduos em duas construções. A primeira, um edifício de apartamentos de 836 m², e a segunda uma casa familiar simples com 191 m².

TABELA 10 - Produção de resíduo de construção

Tipo de Resíduo	Edifício de Apartamentos		Casa familiar Simples	
	Toneladas de Resíduos	% do Total	Toneladas de Resíduos	% do Total
Madeira	7,40	44	3,40	46
Gesso/ Drywall	4,25	25	1,88	25
Resíduos misturados	3,00	18	1,13	15
Papelão	1,08	6	0,40	5
Metais	0,52	3	0,44	6
Alvenaria	0,53	3	0,18	2
TOTAL	16,78		7,43	
Taxa de geração	20 kg/m ²		39 kg/m ²	

Fonte: WORLD WASTES, 1994.

Segundo levantamentos de PINTO (1987), que analisou a composição do entulho proveniente de canteiros de obras, cerca de 64% do material é formado por argamassa, 30% por componentes de vedação (tijolo maciço, tijolo furado, telhas e blocos) e 6% por outros materiais, como concreto, pedra, areia, metálicos e plásticos (Tabela 11). Com essa composição, pode-se compreender que se trata de um material básico de qualidade.

TABELA 11 - Composição média dos resíduos de construção.

ELEMENTO	%
Argamassas	63,67
Tijolos maciços	17,98
Telhas, lajotas, etc.	11,11
Concreto	4,23
Bloco de concreto	0,11
Ladrilhos de concreto	0,39
Pedras	1,38
Cimento-amianto	0,38
Solo	0,13
Madeira	0,11
papel e matéria orgânica	0,20

Fonte: PINTO, 1987.

PINTO (1987), acrescenta ainda, que a quantidade de resíduos liberados pelas atividades construtivas nas cidades é de tal porte que, se prevista uma total reutilização do material gerado, as necessidades de pavimentação de novas vias ou construção de habitações de interesse social, por exemplo, seriam totalmente satisfeitas. Na Tabela 12, o autor apresenta a geração de entulho e a possibilidade de sua utilização, para as finalidades acima citadas, nas principais capitais brasileiras.

É inegável, portanto, que o montante de entulho gerado no país é muito grande e justifica todo esforço no sentido de reaproveitamento deste material. A criação de incentivos aos construtores, coletores de resíduos e proprietários dos imóveis em edificação, é de grande importância para que se inicie um processo amplo de reciclagem deste material. Processo esse que, se bem planejado e estruturado, pode contribuir significativamente para a redução dos custos sociais causados pelo depósito indiscriminado de entulho nos vazios urbanos.

TABELA 12 - Geração de resíduos de construção e possibilidades de reutilização, nas principais capitais brasileiras.

Capitais	Área média de piso licenciado (m ²)	Geração estimada de resíduos (t)	Unidades habitacionais com 50 m ² (unid./ mês)	Sub-base para pavimentação de vias públicas (m/ mês)
São Paulo	413.000	372.000	8.300	183.700
Rio de Janeiro	30.000	27.000	600	13.300
Brasília	95.000	85.000	1.900	42.200
Belo Horizonte	113.000	102.000	2.300	50.400
Porto Alegre	65.000	58.000	1.300	28.900
Salvador	49.000	44.000	1.000	21.500
Recife	21.000	18.000	400	8.900
Curitiba	82.000	74.000	1.600	36.300
Fortaleza	56.000	50.000	1.100	25.200
Florianópolis	36.000	33.000	700	16.300

Fonte: PINTO, 1987.

3.6 O PROFISSIONAL E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Embora o gerenciamento e o destino de resíduos estejam se tornando cada vez mais uma preocupação a nível mundial, a geração de resíduos não tem sido tradicionalmente considerada durante a etapa de criação de processos e produtos usados na indústria em geral, conforme WALSH, (1991). Projetos padrões, tradicionalmente consideram aspectos como desempenho, segurança, estética e lucratividade, características requeridas e convenientes ao usuário. No entanto, o gerenciamento do resíduo produzido quando o produto atingir o fim de sua vida útil, não é estudado. Dessa forma o problema é transferido para o futuro, criando a filosofia de tentar resolver o problema depois que ele é criado.

De acordo com o autor, na pesquisa por soluções de engenharia para o problema dos resíduos, a educação das instituições têm focado exclusivamente sobre o desenvolvimento e ensino de técnicas sobre o manejo, tratamento e disposição dos resíduos. No entanto, da mesma forma que estes fatores são necessários e úteis, há a necessidade de formarem-se engenheiros capazes de promover a minimização de resíduos e a implantação de características recicláveis

aos novos produtos e processos industriais. A prioridade no processo de criação de um novo produto, deveria ser a minimização na produção de resíduos.

Walsh considera que dois tipos de talento estão se tornando necessários aos engenheiros de amanhã, de forma a melhorar os problemas da geração de resíduos e da qualidade de vida da população mundial:

- primeiro, todo engenheiro precisa ser ensinado a como auditar a qualidade ambiental relacionada a pequenos problemas comunitários, e eliminar ou reciclar resíduos através de mudanças em processos. Eles precisam ser treinados a visualizar oportunidades de redução do volume e da toxicidade, como parte do processo de análise;
- segundo, como novos produtos são desenvolvidos, poderia ser dada prioridade ao potencial para redução de resíduos ou reciclabilidade do material, ante aos fatores que determinam tradicionalmente o seu projeto.

Os engenheiros precisam ser conscientizados de que há uma implicação ambiental em cada estágio da vida do produto, a partir do instante de sua fabricação. Reduzir os impactos causados ao meio ambiente e à saúde pública em cada produto e processo desenvolvido, e em todo material comercializado, deveria ser parte da conduta básica de cada engenheiro. A maioria dos engenheiros que estão sendo incumbidos destas tarefas na fabricação de produtos, estão sendo autodidatas, acrescenta o autor.

De fato, esta é uma realidade no perfil da maioria dos profissionais que está sendo formada. Muitos empreendimentos estão procurando engenheiros com habilidade em minimizar a geração de resíduos ou promover a reciclagem, mas estão constatando que, mesmo os novos engenheiros não estão tendo estas informações como parte integrante em sua educação profissional. A estrutura curricular do curso de engenharia poderia ser revista, para atender à estas necessidades que se tornaram realidades mundiais, entre elas, a reciclagem e a minimização da geração de resíduos.

Alguns programas de incentivo ao desenvolvimento da consciência ambiental de profissionais projetistas já começaram a surgir.

Com o apoio da EPA (Environmental Protection Agency) a agência de proteção ambiental americana, o AIA (American Institute of Architects), Instituto Americano de Arquitetos, desenvolveu estudos para a publicação de um guia de pesquisa ambiental, denominado ERG, Environmental Resource Guide, como referência para arquitetos, engenheiros e outros profissionais de criação que estejam interessados em reduzir o impacto ambiental de materiais e técnicas de construção. O uso do guia permitirá ao profissional balancear estes impactos com outros importantes fatores como custo, qualidade, durabilidade e estética (WALSH, 1991).

No Canadá, a Assembléia da Associação dos Construtores de Ontário - COCA (Council of Ontario Construction Associations), e a Associação dos Construtores de Casas de Toronto - THBA (Toronto Home Builders Association), trabalham juntas num estudo sobre a composição, a separação na origem e a reciclagem dos resíduos de construção. A THBA desenvolve um projeto com o objetivo de ao se desmanchar velhas casas, não enviar qualquer material da demolição para um aterro, ou seja, realizar o seu reaproveitamento completo. Num outro estudo aplicado em 10 construções, a COCA desenvolve com arquitetos, engenheiros e fornecedores um programa para minimizar a geração de resíduos. Além disso, o mesmo órgão também planeja encontrar novas formas de manuseio, para promover a separação na origem dos resíduos produzidos, segundo BIOCYCLE (1991).

Para PICCHI (1993), a cultura que predomina entre profissionais e entre empresas de construção de edifícios, é um fator importante que reflete a dificuldade do tratamento da questão da qualidade, e na realidade, contribui para que sua evolução seja mais lenta. Faz parte da cultura dos profissionais da construção de edifícios a grande tolerância com os problemas crônicos do setor, tais como o elevado índice de desperdício, considerados pela maioria como "normais" ou como "parte do processo". *"O fatalismo resumido na frase 'construção é assim mesmo, sempre foi assim', caracteriza o conformismo com níveis medíocres de qualidade"*, finaliza o autor.

Isto também reflete, indiretamente, uma certa deficiência nas metodologias de ensino, que não conseguem despertar nos alunos, uma visão contestadora e não conformista em relação aos problemas, contribuindo, a longo prazo, para a formação de uma sociedade política e socialmente submissa.

A produção universitária de uma geração de engenheiros e administradores conscientes dos benefícios da reciclagem e da redução da produção de resíduos, permite a manutenção de negócios competitivos, e do crescimento da economia, ao mesmo tempo que garante a preservação da qualidade de vida e do meio ambiente.

3.7 DESPESAS GERADAS PELO ENTULHO

Além de favorecer a questão ambiental, a reciclagem de resíduos também pode contribuir para a diminuição dos gastos dos municípios, com o gerenciamento dos resíduos de C&D.

Em São Paulo, por exemplo, de acordo com CONSTRUÇÃO (1996a), o órgão da prefeitura responsável pela limpeza urbana do município - a Limpurb, contrata a Logos Engenharia para gerenciar o sistema de lixo e entulho, que por sua vez subcontrata outra empresa, a Engecorp. De acordo com dados da Logos, a remoção de entulho para distâncias de até 10 km, custa 22,81 reais/t, e de 10 até 20 km, o preço sobe para 24,72 reais/t. No total, são 150 mil t/mês de entulho e 20 mil viagens de caminhão para removê-lo. Calcula-se que o entulho gera uma despesa mensal mínima de 3,42 milhões de dólares ao município.

Em Belo Horizonte, MG, onde existe um Programa de Reciclagem de Entulho, que visa a instalação de mais três usinas de reciclagem, nos mesmos padrões da já existente, haviam antes da instalação da primeira usina, 134 pontos de deposições clandestinas na cidade. A produção chegava a 1,2 mil t/ dia de entulho e mais 1,8 mil t/ dia de terra, com um custo anual de remoção superior a 1 milhão de dólares, conforme levantamento realizado em 1993 (CONSTRUÇÃO, 1996a).

A capital mineira, que vem gradativamente perdendo seus aterros sanitários, por simples esgotamento: eram 12 em 1993 e em 1995 reduziram-se a sete, gasta cerca de 9,5 dólares/m³, (valor muito próximo ao verificado em outras cidades, segundo o arquiteto T. P. Pinto) para o gerenciamento dos resíduos incorretamente depositados em locais clandestinos, segundo TÉCHNE (1995).

A cidade de Ribeirão Preto, SP, com 470 mil habitantes, produz cerca de 970 t/dia de entulho, e possui problemas no seu sistema de coleta, porque não há áreas de descarte para estes resíduos nas zonas sul e leste. Todo o material é encaminhado ao aterro da zona norte, o que significou 11 mil viagens em 18 meses pesquisados. Segundo a Secretaria do Meio Ambiente a solução está nas duas usinas de reciclagem que estão sendo instaladas na cidade, a um custo, sem terreno, entre 100 mil e 120 mil dólares cada (CONSTRUÇÃO, 1996a).

A. Cuilini, da Divisão de Gerenciamento de Resíduos do Ministério do Meio Ambiente de Ontário, Canadá, em 1991, estimou que 16% dos resíduos da grande Toronto vinham de construções e demolições. Cerca de 100 milhões eram gastos para dispor aqueles resíduos a cada ano, na região de Toronto (BIOCYCLE, 1991).

3.8 A RECICLAGEM E OS INVESTIMENTOS

Quando no início de 1990, os governos municipais, estaduais e até o federal, dos EUA, começaram a criar leis que regulamentaram a disposição de resíduos de C&D, o trabalho dos empreiteiros, à procura de locais para dispor seus resíduos, tornou-se mais difícil.

Segundo PIT & QUARRY (1990b), aquela era uma oportunidade única para os produtores de agregados entrarem no ramo da reciclagem de resíduos, processando o entulho e vendendo para os próprios produtores utilizarem como agregados. A reciclagem do entulho poderia contribuir para racionalizar as reservas naturais e aumentar a produção das empresas, além do que, o gerenciamento destes resíduos se tornaria um negócio altamente lucrativo.

Os processos especializados utilizados nas centrais de reciclagem, embora necessitem de um investimento inicial alto, geralmente acabam ficando mais baratos que o custo gerado pelos aterros. No programa de reciclagem implantado na cidade de Los Angeles, após o terremoto de 1994, por exemplo, a média dos custos de reciclagem, incluindo a coleta, foi de aproximadamente US\$ 15/t, cerca da metade do custo dos aterros norte americanos, de acordo com BIOCYCLE (1994).

Nos Estados Unidos, mineradoras estão apostando na reciclagem do entulho e passam a adicionar aos agregados extraídos de suas jazidas, porcentagens de reciclados. Uma empresa de Sebastol, California, gera cerca de US\$ 500.000 anuais em material processado, segundo seu proprietário G. Meiburg, usando um britador de impacto horizontal, peneiras, separadores magnéticos e uma empilhadeira radial. O equipamento custou algo em torno de US\$ 500.000. Embora o investimento inicial seja alto, o retorno parece ser rápido. Para os proprietários de uma mineradora próxima à Oakland, California, dois anos de reciclagem não só pagam os investimentos como também fornecem fundos para se expandir a extração de material virgem. Segundo o gerente operacional da empresa, Mike Plumber, a chave do sucesso da reciclagem está não na produção, mas na venda. *“O melhor negócio é investir na publicidade do produto. As pessoas precisam ser informadas que nós temos um novo produto que pode ser tão bom ou melhor que o material virgem”*, ele diz (PIT & QUARRY, 1990b).

No Brasil, até o momento, os investimentos estão limitados ao setor público, como por exemplo, o Programa de Reciclagem de Entulho da Cidade de Belo Horizonte, MG.

Previsto para ser implantado em várias etapas, o programa faz parte da política geral da prefeitura, do tratamento e da reciclagem dos resíduos sólidos, incluindo lixo doméstico, hospitalar e industrial. Segundo a superintendente de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, o investimento total é de aproximadamente 100 mil dólares, *“um valor razoável, já que gastamos aproximadamente 3 mil dólares/dia com o trabalho de coleta, transporte e deposição final desse material”*, comenta (TÉCHNE, 1995).

A prefeitura de Santo André, na Grande São Paulo, iniciou em 1993 um projeto para reciclagem diária de 30 m³ de resíduos e a produção de aproximadamente 4 mil blocos por dia, com material recuperado. Neste estudo obteve-se, por exemplo, para as condições específicas do município, uma relação de 1 para 10 entre o custo de reciclagem e os gastos abolidos para introdução dessa prática. Além de poder gerar agregados com custo 83% inferior ao preço médio dos materiais convencionais, a análise apresentou também, a viabilidade de se fazer blocos com custos 45% inferiores ao preço de componentes de qualidade.

Para uma geração estimada de 115 m³ de entulho/ dia, seriam necessários aproximadamente 144 mil dólares na montagem dos equipamentos e outros 74 mil dólares na fábrica de componentes de construção (blocos), revelou o estudo. Isto representaria um custo de reciclagem da ordem de 2,5 dólares por metro cúbico. Os gastos na época (1993) para o gerenciamento dos resíduos, mais o valor da compra de agregados correspondentes ao que se produziria representavam um total de 24,7 dólares/ m³ ao município. Ou seja, com o projeto, haveria uma economia de 22,2 dólares/ m³, *“um valor bastante significativo”*, na avaliação dos especialistas que dela participaram. Mesmo com todos esses números favoráveis, a usina não foi montada devido a problemas econômicos vividos pelo país naquele período. No ano de 1995, a prefeitura de Santo André retomou os estudos para viabilizar a implantação do projeto no município.

De acordo com A. Granato (TÉCHNE, 1995), diretor de uma empresa que comercializa máquinas britadeiras usadas em pedreiras, a reciclagem de entulho em usinas com equipamentos britadores é viável, quando a geração em quantidades regulares, estiver entre 30 e 500 t/ hora. Entretanto, de acordo com o arquiteto, T. P. Pinto, especialista na reciclagem de resíduos de C&D, o mais importante é adequar o porte do conjunto de equipamentos à necessidade do município ou do canteiro de obras, que podem ter menor escala de produção e configuração mais simples, por exemplo de 20 t/hora. O fundamental, segundo ele, é salientar que não basta a simples transposição dos equipamentos de britagem para o ambiente urbano. É necessário que sejam tomados uma série de cuidados, que vão adequar o maquinário à sua finalidade, visando principalmente a contenção da geração de resíduos e material particulado.

Segundo Granato, toda cidade que pretender investir na reciclagem do entulho deve desenvolver algumas avaliações básicas:

- *“verificar o volume gerado de entulho ou de controle da municipalidade;*
- *conhecer suas características principais (composição e proporção dos componentes);*
- *estabelecer quais são as áreas disponíveis para recolhimento de produtos e aplicações;*
- *saber quais as possibilidade de industrialização dos materiais e agregados e de comercialização do refugo (madeira, metais, papel e plástico)”.*

A partir daí, segundo ele, é possível efetuar um levantamento econômico do trabalho de reciclagem, que pode ser feito com equipamentos sofisticados ou com máquinas simples, construídas a partir de materiais também reciclados (TÉCHNE, 1995).

3.9 OS INCENTIVOS À RECICLAGEM

O estado da Califórnia, EUA, criou em 1989, um pacote com 20 leis sobre o gerenciamento de resíduos, denominado “Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos”. Com ele, os municípios daquele estado são obrigados a reduzir seus depósitos de entulho, e o departamento de transporte do estado, a incluir o concreto reciclado nas especificações dos materiais para pavimentação, como base e sub-base. A lei ajuda na prevenção de uma possível crise nos aterros da Costa Oeste dos Estados Unidos, que estava atrasada na batalha contra os resíduos sólidos produzidos pelo setor da construção civil, segundo C. Peca, diretor de uma instituição de gerenciamento de resíduos na Califórnia (Califórnia Integrated Waste Management Board). Seguindo esta linha, várias companhias norte americanas, que antes trabalhavam apenas com a matéria prima virgem, agora estão combinando aquele produto com material reciclado. Mesmo com o alto investimento inicial (entre 300.000 a 1.200.000 dólares) o retorno do negócio é rápido (cerca de 2 anos). R. E. Fergon, gerente de “marketing” de uma empresa de agregados norte americana, diz que o “marketing” dos sistemas de reciclagem

cresceu 1.000% entre 1980 e 1990, e estima-se que tenha crescido mais 1.000% de 1990 a 1995 (PIT & QUARRY, 1990b).

No entanto, em 1990, a Associação Nacional de Agregados dos Estados Unidos (National Aggregates Association), posicionou-se contra as leis norte americanas de reciclagem obrigatória, segundo seu relações públicas S. Spring. Ele diz que isto poderia ser decidido pelo produtor e consumidor, e não por uma ordem governamental. O vice presidente da mesma organização, R. Morris, argumenta que a qualidade dos produtos precisa ser considerada. A porcentagem de reciclagem depende da natureza do material e da habilidade de separar os materiais contaminados, acrescenta Morris (PIT & QUARRY, 1990b).

Segundo CONCRETE (1993), a indústria da construção da Holanda, usa grandes quantidades de minerais, principalmente areia e brita. A demanda está em torno de mais de 45 milhões de toneladas por ano. Acredita-se que a procura por estes materiais não mude substancialmente num futuro próximo. No entanto, as reservas destes minérios estão mudando claramente. Cada vez mais há uma oposição política e ecológica à produção de areia e pedregulhos a partir das tradicionais dragagens.

A principal região produtora de agregado graúdos na Holanda, Limburg, no sudeste do país, que gerava em 1989 cerca de 10 milhões de toneladas por ano, passou em 1993 para 5 milhões t/ano. O governo holandês estima que a produção baixará para 2,5 milhões t/ ano, por volta do ano de 2010. Paralelo a esta crise de agregados, o governo daquele país publicou uma lei sobre resíduos sólidos com o objetivo de reduzir a poluição ambiental, provocada por estes materiais, incluindo produtos da indústria da construção. A lei é baseada em dois contextos:

- uma eficiente e ambientalmente correta maneira de se dispor os resíduos sólidos;
- uma limitação nos depósitos de resíduos sólidos, promovendo assim seu reuso.

As conseqüências práticas desta lei já resultaram no fechamento de vários depósitos clandestinos. Outro caminho para limitar a produção de resíduo, é aumentar as taxas para dispô-lo. De 1985 a 1983, o preço normal para a

disposição do resíduos de construção aumentou de 5 a 6 vezes, especialmente no oeste da Holanda (CONCRETE, 1993).

Desde 1984, na Holanda, tem havido testes e pesquisas para a aprovação e controle da utilização de concreto e de alvenaria reciclados, como agregados. Destas pesquisas formularam-se leis e regulamentações sobre a utilização destes resíduos, compreendendo entre outras, diretrizes que permitem classificar o material que é produzido durante a moagem do resíduo, nas seguintes categorias:

- agregado de concreto moído;
- agregado de alvenaria moído;
- agregado misturado moído (uma mistura de concreto e alvenaria).

Estas regulamentações são:

- **CUR-VB Recommendations 4:** o constituinte principal, o agregado de concreto, precisa representar mais de 95% do total do material. Restringe-se a 5% a parcela de materiais secundários, como tijolo de argila, concreto leve, concreto celular, material cerâmico, e argamassa de assentamento e revestimento (com a exclusão de gesso ou qualquer material que o contenha). Finalizando, nada mais que 1% do agregado de concreto moído, pode apresentar madeira, papel, vidro, têxteis, materiais betuminosos, etc.
- **CUR-VB Recommendations 5:** o constituinte principal, o agregado de alvenaria, precisa representar mais de 65% do total do material. Para os materiais secundários, há uma lista abaixo, com os valores limites:

- | | |
|--------------------------|-----|
| - concreto leve | 20% |
| - concreto celular | 10% |
| - materiais cerâmicos | 20% |
| - argamassa de alvenaria | 25% |

Novamente, gesso e materiais que o contenham são excluídos. Existem ainda outras regulamentações que contêm limitações à presença de finos, à quantidade de matéria orgânica, e à presença de cloretos e sulfatos (CONCRETE, 1993).

Segundo M. Plumer, vice presidente da divisão de materiais da Gallagher & Burk (G&B), uma empresa mineradora localizada em Oakland, California (EUA), o grande obstáculo na reciclagem de materiais é a contínua educação em todos os envolvidos no processo, a começar pelos próprios funcionários, pois isto influi diretamente na qualidade dos produtos e nas negociações. A G&B promove constantemente interação com agências governamentais, além de oferecer visitas e “workshops” para introduzir o produto no mercado, bem como mostrar como eles são processados. Em março de 1994, ela promoveu um encontro onde procurou responder à dúvidas técnicas de engenheiros, arquitetos, agências e departamentos de controle ambiental. Ele diz que *“quando outras pessoas passam a conhecer o que é feito e suas vantagens, eles se tornam parceiros indiretos no negócio”*. Segundo ele, estes esforços pagam-se por si mesmos (PIT & QUARRY, 1994).

Também no Brasil a reciclagem está começando a receber o apoio das leis. Em Belo Horizonte, a prefeitura propõe a isenção da taxa de habite-se para as obras cujos resíduos tenham sido encaminhados à usina de reciclagem de entulho da cidade. Existe ainda a idéia de se exigir a utilização de materiais reciclados na execução de obras públicas; este seria um item firmado no próprio edital de licitação, de acordo com CONSTRUÇÃO (1996a).

3.10 USINAS DE RECICLAGEM DE ENTULHO

Em novembro de 1991, foi inaugurada a primeira usina de reciclagem de entulho do Hemisfério Sul, localizada no bairro de Santo Amaro, zona sul de São Paulo: a Usina de Reciclagem de Entulho de Itatinga.

Depois de passar uma temporada desativada, ela agora volta a funcionar. Sua produção, destinada às administrações regionais da zona sul de São Paulo, é aplicada como revestimento primário, do tipo cascalhamento, das ruas de terra da região. O equipamento e a instalação da usina em Itatinga consumiram mais de um milhão de dólares. Por estar localizada na periferia da cidade e por não haver uma sistemática de coleta ou postos intermediários de recepção, a usina é ociosa. Segundo o arquiteto T. P. Pinto, *“faltou planejamento na implantação da usina,*

porque ninguém anda quilômetros para levar entulho à usina" (CONSTRUÇÃO, 1993).

Na tentativa de amenizar este problema, está em fase experimental um posto de recepção intermediário, localizado no bairro do Ipiranga, região central de São Paulo. No entanto, como o depósito tem baixa capacidade, cada pessoa só pode descarregar um caminhão de resíduos por dia. Dessa forma, a usina de reciclagem de Itatinga, projetada para reciclar 1 mil t/dia, processa apenas 50 % da capacidade, segundo o engenheiro G. Brito, superintendente das Usinas de Asfalto de São Paulo, também responsável pela usina de reciclagem (CONSTRUÇÃO, 1996a).

Outro exemplo de reutilização do entulho, a nível municipal, pode ser conferido em Belo Horizonte, MG, onde a prefeitura já está colocando em prática um programa de reciclagem deste material. O sistema, inédito pela sua forma descentralizada, espera alcançar excelentes resultados, pela união da iniciativa de reciclagem ao da captação ordenada de resíduos (TÉCHNE, 1995).

Conforme CONSTRUÇÃO (1996a), a primeira das quatro usinas de reciclagem de entulho previstas para a cidade, começou a funcionar em dezembro de 1995 e hoje processa cerca de 100 t/dia de resíduos de construção no bairro de Estoril. Na primeira etapa, o programa garante o encaminhamento de 110 t/dia de resíduos à usina. Desse volume, cerca de 5% não tem características recicláveis e são encaminhados aos aterros. A economia para o município é bastante sensível. Se o entulho fosse recolhido, transportado e aterrado, o custo seria de 18 dólares/t. Com a reciclagem, o custo cai para 10 dólares/t. A usina custou à prefeitura 150 mil dólares, incluindo equipamento e obras civis. A segunda a entrar em funcionamento será a da Pampulha. Neste bairro, a população aceitou muito bem a idéia da instalação da usina, porque se trata de uma área bonita da cidade, que está em processo de degradação devido às deposições clandestinas de entulho. *"Os moradores querem a usina como meio de preservar a qualidade de vida"*, conta J. Mello, diretor técnico da SLU de Belo Horizonte.

No entanto, na época da instalação da primeira usina, houve problemas com a vizinhança. Quando a atual administração iniciou o processo de instalação

da primeira usina de reciclagem de entulho da cidade, a população do Estoril reagiu mal, por imaginar que haveria sujeira, mau cheiro e desvalorização da área. Foi um longo caminho até a liberação, com direito a um inquérito e avaliação de impacto ambiental, o que atrasou a inauguração em 16 meses. Hoje, os moradores aceitam pacificamente a usina, porque não há ruídos nem nuvens de pó (CONSTRUÇÃO, 1996a).

Uma das fases mais importantes do programa, já concluída na região oeste de Belo Horizonte, prevê a instalação de uma rede de quatro estações de recepção de resíduos e nucleamento de coletores, montada em áreas públicas de pequeno porte. Nesses locais haverá a recepção gratuita de pequenos volumes (até 2m³) de resíduos de qualquer natureza: entulho de construção, material de desaterro, aparas de vegetação e de madeira, e bens de consumo inúteis. Nestas estações também será feita a classificação e organização dos diversos resíduos para obtenção de remoção racionalizada, além do atendimento telefônico ao público para providências de retirada de pequenos volumes pelos coletores credenciados, que se utilizem de veículos de qualquer tipo, com capacidade máxima de 2 metros cúbicos. Com esse programa e mais as quatro estações de reciclagem previstas, amparado por um trabalho de fiscalização e educação ambiental, estima-se uma reciclagem de 8,8 mil t/ mês, resultando numa produção de 5.500 m³ de material reciclado (TÉCHNE, 1995).

O que torna o programa de reciclagem em Belo Horizonte eficiente é o planejamento. O projeto partiu de um diagnóstico minucioso sobre os pontos de deposição clandestinos e concluiu que a cidade comportaria quatro usinas de reciclagem, em zonas estratégicas, mais 17 postos de recepção, sempre próximos dos depósitos clandestinos (CONSTRUÇÃO, 1996a).

De acordo com WASTE AGE (1992), na América do Norte a reciclagem é vista como um mercado altamente rentável pela iniciativa privada. Muitas empresas possuem equipamentos sofisticados para a separação dos materiais, o que acaba aumentando a qualidade do produto reciclado e a eficiência do sistema.

A empresa Kimmins Recycling Corp. criou um rede de aterros de resíduos de C&D, através de áreas urbanas da Flórida. Estes locais promovem a reciclagem

de todo o material com condição de reuso e aterram o material que não pode ser reaproveitado. De dezembro de 1889 a dezembro de 1990, ela abriu usinas em Miami, Tampa, Jacksonville e Clearwater, recebendo entre 75 e 350 t por dia de resíduos, dependendo da estação e de variáveis econômicas. Uma quinta usina em Lantana, ao sul de West Palm Beach, negocia cerca de 60.000 t de material por ano.

Outro aterro que funciona nestes mesmo moldes, ainda conforme Waste Age, o "Route 110 Sand & Gravel, recebeu cerca de 168.000 m³ de material nos primeiros nove meses de 1991, reciclando mais de 38.200 m³ de resíduos de concreto, e vendendo-o como agregado para sub-base de estradas por aproximadamente US\$ 10/ t, segundo o controlador da unidade, D. Picozzi.

Segundo J. Hixon, vice presidente de uma companhia que começou a investir na reciclagem de resíduos de C&D em 1992, a Environmental Resource Return Corp. (Portsmouth, New Hampshire), o essencial é que o material colocado no mercado tenha qualidade. Seu "facility" foi projetado para receber resíduos de demolição misturados a US\$55/t, concreto a US\$20-25/t, e madeira a US\$20-30/t. A empresa mais próxima oferece estes serviços a cerca de US\$65/t. Ele diz que as empresas que estão com dificuldade na venda de seus produtos, é porque não oferecem qualidade. A maioria das usinas não possuem flotores d'água, separadores magnéticos e a ar, ou separação secundária, como em sua unidade "facility". Com estes equipamentos Hixon pode vender o material processado, como o concreto e a madeira, de 6 a 8, e de 10 a 18 dólares a tonelada, respectivamente, e manter as taxas para o recebimento dos resíduos a valores mais baixos (WASTE AGE, 1992).

Um fato importante provocado pela reciclagem é o aumento da capacidade dos aterros. Nas proximidades de São José, Califórnia, um aterro de resíduos sólidos que possuía inicialmente uma vida útil de 35 anos, já está sendo influenciado por este processo que maximizará esse período com a reciclagem dos resíduos. Segundo seu proprietário, pretende-se conseguir mais 15 ou 20 anos de utilidade para o aterro, pois a meta é atingir um índice de 90% de reciclagem dos resíduos que chegam no local. O processo chega a produzir 200.000 t/ ano de material para base de estradas e drenagem. Um grande tanque é usado para

separar a madeira do concreto e do asfalto, que combinado com um sistema de moedores de martelo, separadores magnéticos e peneiras, podem processar cerca de 1.500 m³ por dia de material reciclado. Um sistema de moagem e peneiramento permite que dois terços do resíduo de madeira seja utilizado como combustível para o maquinário da própria usina, e o restante vai para uma “planter mix mulch” (local onde se realiza a decomposição da matéria orgânica). O aterro processa também glass cullet (casco de vidro²) a 100 t/ hora através de um triturador de concreto, e vende esse material a US\$ 13 a tonelada, como areia de enchimento. O presidente do aterro, J. Weigel, enfatiza a importância do trabalho com a comunidade onde o resíduo seja gerado. A adesão pública é muito importante para encorajar o desenvolvimento dos negócios de reciclagem de todos os tipos, incluindo os resíduos de C & D (BIOCYCLE, 1990).

Segundo A. Geswein, engenheiro ambiental do Programa de Resíduo Sólido Municipal do EPA (Environmental Protection Agency's), havia em 1990 3.500 aterros de entulho nos Estados Unidos. Ele diz que além dos aterros de entulho geralmente ocuparem o espaço dos aterros de resíduos municipais (domiciliar, comercial, restos de feiras, etc.), eles não têm a necessidade das licenças exigidas para estes, o que as vezes acaba ocasionando problemas, devido à descargas não autorizadas de resíduos perigosos efetuadas durante a madrugada (PIT & QUARRY, 1990a). Este é um ponto importante a ser levado em consideração no planejamento das usinas de reciclagem e nas estações de transbordo.

Alcançar taxas de reciclagem de 50% do resíduo produzido, é sem dúvida uma história de sucesso para resíduos de C&D. No entanto, no nordeste dos EUA, onde a maioria dos resíduos são produzidos, o quadro não é tão claro. Os altos volumes de resíduos gerados acabam deixando caótico o controle, e complicando os negócios. Aterros estão se enchendo rapidamente e alguns transportadores depositam resíduos em locais ilegais. No estado de “New York”, há aproximadamente 30 unidades legais de reciclagem de entulho que processam 2,75 milhões de toneladas de resíduos gerados no estado, a cada ano, de acordo com o New York State Department of Environmental Conservation (NYSDEC). No entanto, em dezembro de 1990, um estudo de reciclagem de resíduos de C&D, no

² GRN, 1996

nordeste do EUA, realizado pela C.T. Donovan & Associates Inc., encontrou apenas 8 estações em condições de serem classificadas como usinas de reciclagem, de acordo com as especificações necessárias, estabelecidas pela NYSDEC (WASTE AGE, 1992).

A reciclagem tem também um papel muito importante após as grandes destruições provocadas pelos terremotos. Segundo BIOCYCLE (1990), um processo patenteado que é usado por uma unidade de reciclagem em São José, Califórnia, o Zanker Material Recovery Systems, foi aplicado com sucesso em mais de 19.000 m³ de entulho do terremoto de 1989 em São Francisco.

Outro exemplo é a cidade de Los Angeles, que começou um programa para reciclagem de resíduos de terremotos em fevereiro de 1994, um mês depois do desastre. Durante o período das primeiras seis semanas 46.038 t de resíduos foram enviados para os centros de reciclagem, sendo recuperados 86%. Aparentemente um bom começo, mas a taxa de reciclagem inicial foi baixa (fechou em praticamente zero no primeiro mês), devido ao alto volume de resíduos que ia direto para os aterros. Já em março daquele ano, as taxas começaram a aumentar, devido aos acordos fechados com as empresas que faziam a remoção do material e com os transportadores contratados, os quais se comprometiam a levar os resíduos para as usinas de reciclagem, segundo E. Hae, da Secretaria de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da cidade (BIOCYCLE, 1994).

Alguns empreendimentos obtiveram êxito, principalmente devido às suas localizações. A empresa "Community Recycling", por exemplo, fixada em Sun Valley, Los Angeles, talvez tenha sido a maior recicladora do resíduo produzido pelo terremoto de 1994 naquela região, chegando a receber em novembro daquele ano cerca de 2.500 t diárias de resíduos, dos quais 80% eram reciclados. Seu vice-presidente, John Richardson lembra que a produção da empresa no início do ano era de 100 t/dia, o que representa uma difícil transição (de 100 para 2.500) e que portanto 80% é um ótimo índice de recuperação. Havia duas diferentes taxas sobre o material que chegava: uma de US\$33,80/t era cobrada dos resíduos de C&D que possuíam mais de 5% de madeira ou outro material orgânico. Esta taxa era a mesma cobrada pelas empresas que trabalhavam com resíduos sólidos municipais e comparável àquela cobrada pelos aterros de entulho da região.

Cargas com menos de 5% de material orgânico era taxada em US\$20/ t (BIOCYCLE, 1994).

A tendência para a reciclagem de resíduos é crescente e cada vez mais fará parte de nossa vida no futuro. Na Holanda, por exemplo, há hoje cerca de 14 milhões de toneladas/ano de resíduos de construção e demolição passíveis de reciclagem, resultantes de um processo que vem aumentando nos últimos anos (Tabela 13).

TABELA 13 - Quantidade de resíduos de C&D processada na Holanda

Material	1988 (t x 10⁶)	1990 (t x 10⁶)	1991 (t x 10⁶)
Resíduos de Concreto	0,6	1,2	1,0
Resíduos de Alvenaria	1,2	2,7	2,6
Resíduos Misturados	0,4	0,3	0,7
Resíduos de Asfalto	0,8	0,9	0,8
Outros*	1,9	1,1	1,7
TOTAL	4,9	6,2	6,8
* terra, areia, lama, gesso, plástico e madeira			

Fonte: CONCRETE, 1993.

Da mesma forma, os projetos da política governamental de reutilização de resíduos de C&D daquele país, estimam um crescimento de 90% até o ano 2000 conforme mostra a Figura 1.

No Brasil, a bandeira da reciclagem começa a ser levantada por algumas prefeituras com a instalação de usinas de reciclagem. Nos EUA, e em alguns países europeus muitos empresários já abraçaram, há algum tempo, a causa da reciclagem de resíduos de C&D e investem pesado em “marketing” com seus próprios recursos, influenciados, é claro, por uma política de controle e fiscalização rígida para a disposição de resíduos. Dessa forma, é importante lembrar que os negócios privados de tratamento e reciclagem de resíduos funcionam nos países desenvolvidos, também porque eles estão amparados por legislações, fiscalizações e um poder judiciário eficientes.

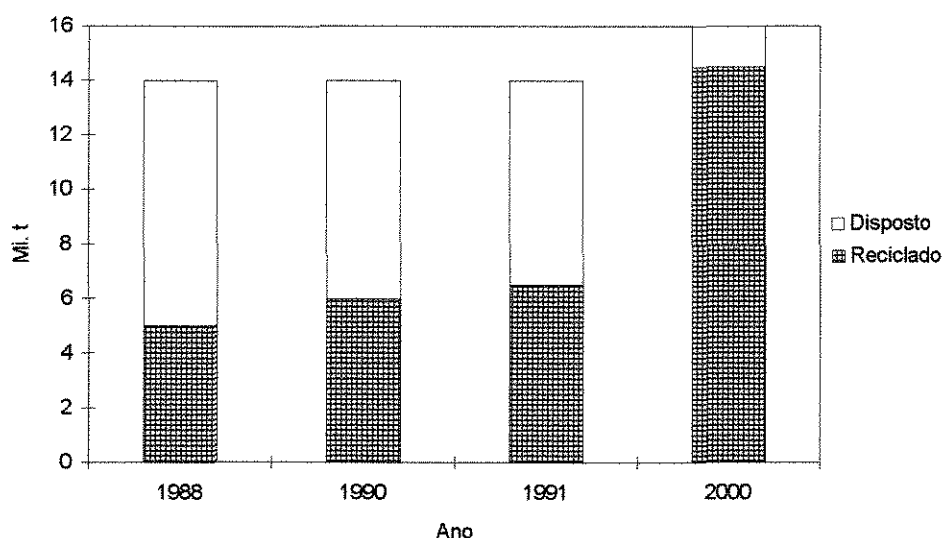


FIGURA 1 - Total de resíduos de C&D e porcentagens dispostas e recicladas na Holanda (Concrete, 1993)

3.10.1 A Usina de Reciclagem de Ribeirão Preto

Inaugurada em setembro de 1996, esta usina foi a fonte do entulho utilizado como agregado, neste trabalho. Localizada na região de Ribeirão Preto, interior do estado de São Paulo, ela ainda estava em fase de adaptação no seu sistema de produção, durante o período em que foram realizadas as coletas, o que equivale a dizer que o material coletado pode não corresponder exatamente ao material que será produzido quando o empreendimento estiver operando em plena capacidade. No entanto, a diversidade no material processado será uma característica destas usinas, pois sempre haverá a possibilidade de um tipo de material (concreto, materiais cerâmicos, argamassas, terra, etc.), chegar em maior quantidade que outro.

3.10.1.1 Linha de Produção

A partir do momento em que as caçambas são descarregadas no pátio, a linha de produção da usina constitui-se das seguintes etapas:

- avaliação visual da qualidade do entulho descarregado³;
- separação manual dos materiais não utilizáveis como agregados na indústria da construção civil (onde se eliminam os pedaços maiores de madeira, metal, papel, papelão, trapos, etc.);
- alimentação do equipamento de moagem com o entulho previamente limpo;
- moagem dos resíduos (há uma separação magnética de pedaços de metais possivelmente existentes);
- empilhamento do material moído.

3.10.1.2 Equipamento de Moagem

O equipamento utilizado para triturar o entulho (britador primário) nesta usina, é um britador de impacto. A dimensão máxima do material produzido por esse tipo de triturador é determinada, além da capacidade física da boca de entrada, basicamente, pela regulagem do equipamento. A partir dessa regulagem, há uma variada e decrescente composição granulométrica do produto obtido.

Conforme mostra a Foto 1 (Anexo A), o conjunto de equipamentos que realiza a moagem do entulho é composto pelos seguintes elementos (Conforme MAQBRIT, 1996):

- Alimentador vibratório apoiado com capacidade de 30 a 50 m³/ hora;
- Britador de impacto com capacidade de 30 t/ hora, em circuito aberto;
- Transportador de correia móvel com velocidade de trabalho de 90 m/ min;
- Eletroímã suspenso em regime de trabalho contínuo;
- Sistema nebulizador para contenção de material particulado;
- Sistema de contenção de ruídos com manta de borracha anti-choque;
- Estrutura metálica de sustentação de todo o conjunto.

³ Embora essa etapa ainda não estivesse efetivamente em funcionamento no período das coletas, ela objetiva impedir que outros tipos de resíduos - que não sejam resíduos de C&D - estejam escondidos no interior das caçambas.

O processo de trituração ocorre por intermédio de um rotor em alta velocidade, que lança o resíduo contra barras e placas de impacto, fixadas no interior do conjunto.

3.10.1.3 O Destino da Produção

Embora a usina ainda não esteja em pleno funcionamento, o material produzido já está sendo utilizado pela prefeitura local de várias formas, entre elas podem-se citar: sub-base de estradas, contenção de encostas, calçamentos de concreto e até mesmo blocos de concreto, que foram utilizados na construção de uma guarita num Bosque da cidade.

Encontrar utilidade para o entulho processado pelas usinas de reciclagem não será um problema para as prefeituras que aderirem a esse processo de reciclagem, como pode-se ver pelos exemplos de cidades como Ribeirão Preto, Belo Horizonte, São José dos Campos, entre outras, que apostaram na reutilização de um material que era simplesmente visto como um problema. Através do beneficiamento do entulho de construção, transformou-se um lixo leve ou medianamente infestado em uma nova matéria prima. Segundo a visão de OFFERMANN (1987), este processo pode chegar a ter, como nas estações de reciclagem mais equipadas dos países desenvolvidos, a configuração de um fluxo mássico como apresentado na Figura 2.

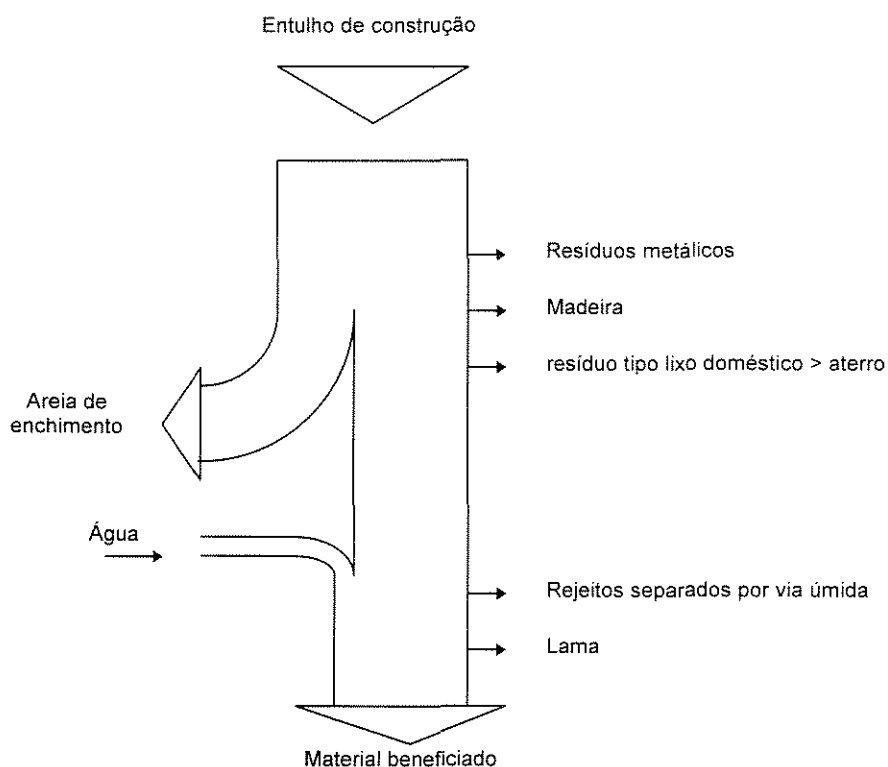


FIGURA 2 - Diagrama de fluxo de massa de uma instalação de beneficiamento, segundo Offermann, 1987.

3.10.2 Mini usinas

Embora concebidos para reciclagem em obras, um moinho portátil conhecido como argamasseira Anvi, também tem sido usado por algumas administrações municipais. No Rio de Janeiro, por exemplo, de acordo com TÉCHNE (1995), a prefeitura adquiriu o moinho e está usando o equipamento para resolver o problema provocado pela deposição indevida de 30 m³ por dia de entulho na ilha de Paquetá. Desde novembro de 1994, este material está sendo reciclado para a produção de uma argamassa grossa utilizada no recapeamento de ruas, anteriormente feitas com saibro. Numa segunda etapa, a prefeitura do Rio pretende confeccionar argamassa para baratear as construções populares na ilha.

3.11 PESQUISAS SOBRE A RECICLAGEM

YANNAS (1977) comparou as propriedades mecânicas do concreto convencional e de outro contendo pedaços de concreto reciclado (usado como agregado graúdo).

Inicialmente preparou-se um concreto no traço 1:2:3 (cimento: areia: pedra, em peso), com uma relação água cimento de 0,5 (em peso), e após 2 anos ele foi moído para, então, ser usado como agregado graúdo.

O concreto feito com agregado graúdo reciclado e areia normal, foi preparado no traço 1:2:3 (cimento: areia: entulho, em peso), com relações água cimento de 0,5 , 0,65 e 0,75 (todas em peso).

A resistência à compressão do novo concreto ficou em torno de 4 a 14% mais baixa do que a do concreto convencional, independentemente dos traços utilizados. O efeito da substituição foi mais pronunciada no módulo de elasticidade, onde o concreto com agregado reciclado apresentou valores até 40% inferiores aos do concreto convencional.

Além disso, o autor analisou as zonas de transição entre o agregado e a matriz de cimento confeccionados com agregado convencional e com concreto reciclado, conforme apresenta a Tabela 14.

TABELA 14 - Resistência da zona de transição testada por Yannas

Tipo de Agregado Utilizado	Carga Última (kg*)	Local da Fratura
Agregado novo	25,43 ± 6,81	Interface matriz-agregado
Agregado reciclado: <u>brita</u>	22,25 ± 8,17	Interface matriz-agregado
Agregado reciclado: <u>brita + argamassa</u>	17,71 ± 6,36	Geralmente no agregado
Agregado reciclado: <u>argamassa</u>	14,07 ± 3,63	Sempre no agregado
* valores convertidos de libras		

Fonte: FRONDISTOU-YANNAS, 1977.

Os concretos elaborados a partir de material reciclado foram confeccionados dos seguintes modos:

- a) utilizando apenas a brita do concreto reciclado;
- b) utilizando apenas a argamassa do concreto reciclado, e
- c) utilizando tanto a brita como a argamassa.

Analizando os dados apresentados na tabela anterior, pode-se verificar que a argamassa do concreto antigo (reciclado) é, na maioria das vezes, a parte mais vulnerável no produto, causando assim a sua ruptura. Dessa forma, pode-se supor que, quanto mais resistente for o concreto original (concreto reciclado utilizado como agregado), melhor será o seu comportamento como agregado reciclado, uma vez que sua matriz (pasta de cimento) será mais resistente.

HANSEN e NARUD (1983) estudaram a resistência à compressão de concretos feitos de agregados graúdos reciclados, em função da resistência à compressão do concreto original do qual os agregados foram originados.

Os concretos originais possuíam 3 (três) padrões de resistências: alta (H), média (M) e baixa (L). O consumo de cal material e os fatores água/ cimento são apresentados na Tabela 15.

TABELA 15 - Proporção das misturas dos concretos originais

Componente	H (kg/ m ³)	M (kg/ m ³)	L (kg/ m ³)
cimento	410	215	138
água	165	151	165
areia	545	695	951
brita	1266	1290	1117
a/c	0,4	0,7	1,2
H: resistência alta M: resistência média L: resistência baixa			

Fonte: HANSEN e NARUD, 1983.

Estes concretos foram testados, moídos e separados em proporções granulométricas que se aproximassem da brita convencional. A partir daí, eles

foram utilizados como agregado graúdo na confecção de novos concretos de alta, média e baixa resistência, onde se mantiveram os consumos de materiais e as relações água/ cimento utilizadas no concreto original. A Tabela 16, apresenta os resultados das resistências dos novos concretos e também do original. Os concretos reciclados foram designados por H/H, H/M, H/L, M/H, M/M, M/L, L/H, L/M e L/L, onde a primeira letra representa o padrão de resistência do concreto reciclado, e a segunda o do concreto original.

TABELA 16 - Resistência à compressão do concreto original e do obtido com agregado reciclado (MPa)

Cura	H	H/H	H/M	H/L	M	M/H	M/M	M/L	L	L/H	L/M	L/L
14 dias	49,5	54,4	46,3	34,6	26,2	27,7	27,0	23,2	9,1	10,2	10,3	9,6
38 dias*	56,4	61,2	49,3	34,6	34,4	35,1	33,0	26,9	13,8	14,8	14,5	13,4
H, M e L: concreto original (alta, média e baixa resistência respectivamente) H/M: concreto de alta resistência feito com agregado reciclado de concreto de média resistência, etc. * Cura acelerada (11 dias água a 20° C + 27 dias água a 40° C												

Fonte: HANSEN e NARUD, 1983.

Pode ser observado na Tabela 16, que em todos os concretos onde os consumos de materiais foram mantidos, a resistência foi mais alta do que quando se utilizou o concreto reciclado como agregado, ou seja, o seu comportamento neste item analisado, foi melhor que o do agregado graúdo convencional.

Os autores concluíram dos valores apresentados que, a resistência à compressão do concreto reciclado é amplamente controlada pela relação água/ cimento do concreto original quando os outros fatores são constantes. Desta forma, se a relação água/ cimento do concreto original for a mesma ou maior que a do concreto reciclado, então as novas resistências serão tão boas ou melhores que as do concreto original, e vice versa.

Alguns parâmetros dos agregados também foram analisados por Hansen e Narud, como apresenta a Tabela 17. Um dado interessante analisado pelos pesquisadores foi a porcentagem de argamassa existente no agregado graúdo reciclado, que corresponde à parte mais frágil de novo agregado.

TABELA 17 - Propriedades dos agregados naturais e reciclados.

Agregado	Dimensão (mm)	Absorção de água (%)	Los Angeles Abrasão (%)	% de argamassa no agregado
Brita natural	4-8	3,7	25,9	0
	8-16	1,8	22,7	0
	16-32	0,8	18,8	0
Reciclado (H)	4-8	8,5	30,1	58
	8-16	5,0	26,7	38
	16-32	3,8	22,4	35
Reciclado (M)	4-8	8,7	32,6	64
	8-16	5,4	29,2	39
	16-32	4,0	25,4	28
Reciclado (L)	4-8	8,7	41,4	61
	8-16	5,7	37,0	39
	16-32	3,7	31,5	25

Fonte: HANSEN e NARUD, 1983.

HANSEN e BØEGH (1985), confeccionaram concretos de alta, média e baixa resistência à compressão, a partir de agregados convencionais (areia e brita), variando a relação água/ cimento (Tabela 18).

TABELA 18 - Proporção das misturas estudadas por Hansen e Bøegh

COMPONENTES	QUANTIDADE (kg/ m³)			
	H	M	L	M/L
Cimento	413	221	136	318
Água	165	155	163	381
Agregados miúdos	380	536	670	1567
Agregados graúdos	1431	1451	1360	0
Relação água/ cimento	0,40	0,70	1,20	1,20
H, M e L: concreto de alta, média e baixa resistência respectivamente M/L: argamassa de baixa resistência				

Fonte: HANSEN e BØEGH, 1985.

Após 47 dias, os autores mediram a resistência à compressão, e o módulo de elasticidade dos diferentes concretos produzidos. Depois, os corpos de prova foram moídos, peneirados e separados em categorias granulométricas similares às dos agregados inicialmente utilizados. Esse novo material produzido, foi utilizado

como agregado graúdo na preparação de novos concretos de alta, média e baixa resistência, nas mesmas proporções das mistura usadas no concreto moído (usou-se areia natural como agregado miúdo). Esses novos corpos de prova foram testados aos 47 dias quanto à resistência à compressão, e ao módulo de elasticidade. A retração foi medida por um período superior a um ano. Os resultados são mostrados nas Tabelas 19 a 21.

TABELA 19 - Resistência à compressão do concreto original e do obtido com agregado reciclado

Item	H	H/H	H/M	H/L	M	M/H	M/M	M/L	L	L/H	L/M	L/L	ML	H/ML
MPa	58,5	60,6	52,7	43,1	33,2	36,9	36,0	29,1	15,0	15,0	13,1	12,8	16,4	29,3
H, M e L: concreto original (alta, média e baixa resistência respectivamente) H/M: concreto de alta resistência feito com agregado reciclado de concreto de média resistência, etc.														

Fonte: HANSEN e BØEGH, 1985.

TABELA 20 - Módulo de elasticidade do concreto original e do obtido com agregado reciclado (GPa)

Item	H	H/H	H/M	H/L	M	M/H	M/M	M/L	L	L/H	L/M	L/L	ML	H/ML
E _d	46,7	40,3	37,6	39,1	42,3	36,4	35,8	35,0	36,6	31,0	28,8	28,0	23,6	26,6
↓ (%)	--	14	20	16	--	15	15	17	--	15	21	23	--	43
E _e	43,4	37,0	36,3	34,8	38,5	33,0	32,0	30,0	30,8	27,5	22,3	22,6	22,5	23,9
↓ (%)	--	14	16	20	--	14	17	22	--	11	28	27	--	45
E_d: módulo de elasticidade dinâmico E_e: módulo de elasticidade estático H, M e L: concreto original (alta, média e baixa resistência respectivamente) H/M: concreto de alta resistência feito com agregado reciclado de concreto de média resistência, etc.														

Fonte: HANSEN e BØEGH, 1985.

Os resultados apresentados na Tabela 20, mostram que os módulos de elasticidade estático e dinâmico do concreto feito com agregado graúdo reciclado e com areia natural, é 15 a 30 % menor que o correspondente módulo do concreto original do qual os agregados foram produzidos.

TABELA 21 - Retração do concreto original e do obtido com agregado reciclado depois de 440 dias a 40% de umidade relativa e 25°C

Item	H	H/H	H/M	H/L	M	M/H	M/M	M/L	L	L/H	L/M	L/L	ML	H/ML
R	4,0	6,4	6,0	5,8	4,3	6,1	6,6	6,3	5,1	7,9	7,0	7,5	*	11,8
↑ (%)	--	60	50	45	--	42	53	47	--	55	37	47	--	195
R: retração ($\times 10^4$) H, M e L: concreto original (alta, média e baixa resistência respectivamente) H/M: concreto de alta resistência feito com agregado reciclado de concreto de média resistência, etc. *: valor não determinado														

Fonte: HANSEN e BØEGH, 1985.

Na Tabela 21, pode-se notar que a retração do concreto feito com agregado gráudo reciclado e com areia natural, pode ser de 40 a 60 % maior que no concreto original do qual os agregados foram produzidos. Em casos extremos, onde agregados reciclados de baixa qualidade são usados, a retração pode ser muito maior que a do concreto convencional, como exemplificado na última coluna da Tabela 21, onde um novo concreto de alta resistência foi produzido a partir de uma argamassa de baixa resistência, usada como agregado.

PINTO (1986) também estudou a utilização do entulho para a produção de argamassa. Ele coletou 33 amostras, distribuídas pelos depósitos do resíduo na cidade de São Carlos, interior do estado de São Paulo, dividiu o resíduo de acordo com suas características granulométricas, em cinco categorias, e analisou seu comportamento como agregado na confecção de argamassas, comparando-o ao uso da areia normal.

Na determinação da reatividade do entulho estudado com a cal hidratada, Pinto verificou que o material pesquisado chegou a ser 8 vezes mais reativo com a cal hidratada do que a areia normal, apontando segundo ele, para o efeito pozolânico característico do resíduo moído. Já na medida da reatividade do entulho com o cimento Portland, os resultados mostraram que a resistência à compressão da mistura feita com o entulho, ficou em cerca da metade do valor obtido pela mistura com areia normal. Segundo o pesquisador, tais resultados se devem à presença de partículas cerâmicas, que são materiais frágeis, na composição dos resíduos de construção.

Ainda comparando o desempenho do entulho e de areia normal, na confecção de argamassas de assentamento e revestimentos, Pinto observa que, o decréscimo do teor de cimento nas misturas, provoca um acréscimo na diferença de resistência entre as argamassas pesquisadas, conforme apresenta a Tabela 22.

Da divisão inicial das amostras em cinco categorias, em função de suas características granulométricas, o autor manteve apenas duas amostras, em função da facilidade prática para obtê-las, num uso posterior. Assim ele utilizou uma amostra 1, representada pela média geral (todas as faixas granulométricas) de todas as amostras coletadas, e uma amostra 2, constituída pela média dos materiais grossos de todas as amostras, ou seja, a média de todo o material retido na peneira 25,4 mm.

TABELA 22 - Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas testadas

Traço* (volume)	Areia normal (MPa)	Resíduo - Amostra 1 (MPa)	Resíduo - Amostra 2 (MPa)
1:1:6	5,75	5,71	5,75
1:2:12	0,92	2,42	2,96
1:2:18	0,28	1,63	2,57
1:2:24	0,21	1,65	1,93
Amostra 1: média geral das amostras coletadas Amostra 2: média da porção grossa (retida na peneira 25,4 mm) das amostras coletas * Relação cimento : cal : entulho			

Fonte: PINTO, 1986.

Segundo Pinto, os bons resultados que os resíduos de construção apresentaram na resistência à compressão nos traços com presença de cal, podem ser atribuídos a dois fatores:

- à reação pozolânica dos finos reativos dos resíduos, em presença da cal, embora se trate de uma reação lenta e,
- a uma maior velocidade de carbonatação, em função da porosidade maior que as argamassas de resíduos apresentaram. A porosidade superior, otimizaria o contato do hidróxido de cálcio com o gás carbônico,

acelerando a produção do carbonato de cálcio e portanto, gerando maiores resistências.

OFFERMANN (1987), analisou a substituição de agregados naturais por resíduos de construção, na confecção do concreto. Como o material menor que 4 mm absorve grande quantidade de água, ele substituiu essa faixa granulométrica por areia normal, para evitar os efeitos maléficos que a grande quantidade de água acarretaria. Ele chama a atenção para o fato de que se deve molhar previamente o resíduo, para se obter uma boa trabalhabilidade, devido à grande absorção de água pelo material.

Os resultados obtidos mostraram valores de resistências menores que a do concreto de referência. A resistência à compressão após 28 dias situou-se 10 a 30 % abaixo, e a resistência à flexão e fragmentação aproximadamente 25 % abaixo dos valores do concreto de referência. As superfícies de ruptura dos corpos de prova mostraram a fragilidade do agregado, enquanto que, na ruptura do concreto normal, a fragilidade se manifesta no limite da capacidade de aderência entre os grãos do agregado e a matriz. O ensaio para a determinação da durabilidade, resultou numa maior permeabilidade à água e numa menor resistência à ciclagem gelo/ degelo, que a do concreto de referência.

Segundo o autor, os resíduos de construção civil reciclados, na Alemanha, são empregados sobretudo na construção de estradas. No entanto, ele diz que há um erro do passado que trouxe consequências ruins para esta substituição. Conforme as diretrizes alemãs de construção de estradas, não é a qualidade da estrada resultante do material empregado que é testada, mas sim, de forma indireta, o comportamento de cada uma das granulometrias. Enquanto predominava apenas a pedra calcária, esse sistema funcionava pois os dois procedimentos estavam combinados entre si. Por volta dos anos 80, no entanto, outros materiais entraram no mercado, como por exemplo os resíduos de C & D. Esses, contudo, não conseguem cumprir determinadas diretrizes de ensaio do procedimento indireto, ainda que no ensaio direto muitas vezes já tenha se comprovado sua qualidade.

A Tabela 23 , de acordo com Offermann, faz parte de um boletim publicado em 1985 pela Associação de Pesquisa para Trânsito e Estradas, e cita as possibilidades de emprego do entulho reciclado.

TABELA 23 - Possibilidades de emprego de entulho de construção

GRUPOS DE MATERIAIS	1	2	3	4	5	6	7
CAMPOS DE USO							
A) Paredes de proteção acústica	■	■	■	■	■	■	■
B) Áreas de trânsito não usadas	■	■	■	■	■	□	■
C1) Sub-base	□	■	■	■	■	■	■
C2) Preenchimento de vazios, aterros	□	■	■	■	■	□	□
D1) Preenchimento de valas de instalações	□	■	■	■	■	□	■
D2) Reforço e melhoria do solo	□	■	■	■	■	□	■
E) Camadas de sustentação sem aglutinantes	□	■	■	■	■	□	□
F) Camadas de sustentação hidráulica aglutinadas	□ *	■	■	■	■	□	□
G1) Camadas de sustentação com aglutinante betume	■ **	□	□	■	■	□	□
G2) Camada de cobertura e aglutinante betuminosas	■ **	□	□	■	□	□	□
H) Camada de sustentação de concreto	□	■	■	■	■	□	*
Grupos de materiais: 1) Asfalto 2) Concreto 3) Outros materiais de aglutinação hidráulica 4) Pedras naturais 5) Seixo, areia 6) Outras massas minerais 7) Telhas, tijolos, pedras em geral ■ uso possível □ uso possível em condições especiais * pode ser usado como material supl. aos grupos 2 a 5 (com ensaios de laboratórios) ** veja boletim "Merkblatt für die Erhaltung von Asphaltstrassen"							

Fonte: OFFERMANN, 1987

HANSEN (1990) mostrou que se pode produzir concreto a partir de concreto reciclado com a adição de cinzas volantes, sem a utilização de novo cimento. Inicialmente, ele fez um concreto original, com cimento convencional, areia natural, brita e água, com relação $a/c = 0,40$, slump = 55 mm e resistência à compressão média de 56,4 MPa aos 38 dias. Este mesmo concreto foi triturado em laboratório, e separado. Um novo concreto foi então confeccionado, utilizando-se 79% dos resíduos separados, 11% de cinzas volante e 10% de água. Apresentando um slump de 100 mm, uma excelente coesão, e resistência à compressão de 1,6 MPa, aos 28 dias, que subiu para 12,4 MPa aos 3 anos.

Segundo Hansen, o ganho lento de resistência, foi devido à reação pozolânica entre a cinza volante e o hidróxido de cálcio da pasta de cimento do antigo concreto. Com base no valor obtido aos 28 dias, ele sugere que a reciclagem do concreto, com a adição da cinza volante, seja utilizada para se obter bases de estradas ou concreto de enchimento.

Conforme BIOCYCLE (1990), a American Reclamation Corporation (AmRec) de Southborough, Massachusetts, está produzindo uma mistura asfáltica à frio, à base de solo contaminado com óleo e material asfáltico, combinados com vários tipos de concreto, blocos e telhas reciclados. Este processo patenteado, foi desenvolvido durante anos de pesquisa, em um negócio anterior, onde resíduos de óleo foram usados como agente recuperador de asfalto de pavimento reciclado. A receita desenvolvida produz um material de pavimentação misturado a frio que tem sido usado em várias superfícies de estradas municipais de Massachusetts.

CONCRETE (1993), apresenta um resumo das características do concreto fresco e do concreto endurecido, utilizando entulho moído como agregado, que foram obtidas através dos vários anos de testes e pesquisas desenvolvidas na Holanda:

Demanda de água/ trabalhabilidade

Devido à forma mais angulosa e à maior absorção dos agregados reciclados, a demanda d'água do concreto fresco será maior se comparada com o concreto feito a partir de agregado tradicional.

O concreto feito com resíduos de cimento possui uma menor absorção se comparado ao produzido com várias misturas de resíduos (cimento, argamassa, material cerâmico, etc.). Uma possibilidade é umedecer essa mistura de material reciclado, ainda no local de armazenamento. Porém, existe o risco de se promover a saturação do resíduos o que ocasionará dificuldade em produzir misturas homogêneas (Concrete).

Com a substituição de apenas 20% (em volume) dos agregados naturais pelos reciclados, não há problemas com a trabalhabilidade de um modo geral.

Resistência à Compressão

A substituição de 20% do agregado natural por resíduos reciclados, não afeta significativamente a resistência à compressão do concreto. Com 100% de substituição do agregado, haverá um decréscimo na resistência à compressão na ordem de 10 a 20%.

Durabilidade

Para concretos de mesma resistência à compressão e relação água/cimento, foi encontrada pequena diferença na taxa de carbonatação.

No clima da Holanda, o concreto feito com material reciclado se mostrou resistente ao congelamento, principalmente pela grande porosidade existente no concreto reciclado. Somente quando o concreto é praticamente saturado, apresenta danos causados pelo ação do congelamento.

Concrete concluiu que a substituição de apenas 20% dos agregados convencionais, não afeta as propriedades do concreto fresco ou endurecido. Porém, esta quantidade não chega a ser expressiva em termos econômico ou ambiental. Por outro lado, existem concretos onde a substituição completa (100%) dos agregados pelo entulho reciclado não causaria problemas, como concretos não estruturais, de enchimento e de vedação.

RILEM (Réunion International des Laboratoires d'Essais et Matériaux), (1994) publicou diretrizes para a utilização de agregados graúdos reciclados no concreto. As diretrizes referem-se apenas à granulometria superior a 4 mm, e são indicadas de acordo com os tipos de agregado, também definidos pelo documento:

Tipo I: agregados provenientes de resíduos de alvenaria;

Tipo II: agregados provenientes de resíduos de concreto;

Tipo III: agregados provenientes de uma mistura de agregados reciclados e agregados naturais, sendo que:

- a quantidade mínima de agregado natural deve ser 80% (em massa)

- a quantidade máxima de agregado Tipo I deve ser 10% (em massa).

A partir dessa classificação, o documento especifica índices que cada propriedade dos resíduos deve ter, como por exemplo absorção de água, porcentagem de metais e de material orgânico, etc. Além disso, ele indica os testes que podem ser utilizados para se medir cada uma das propriedades.

O documento sugere os testes apenas para os resíduos graúdos, porque segundo o RILEM, a utilização da fração fina (< 4 mm) do entulho, deve ser evitada, devido aos seguintes fatores:

- a fração fina do entulho geralmente contém muitos contaminantes, e pouco se sabe sobre sua ação no concreto;
- o impacto do uso de agregados miúdos reciclados na durabilidade e resistência do concreto não está documentado suficientemente;
- um método relevante para a determinação da resistência de agregado finos reciclados não está disponível;
- não há um método confiável para a determinação da reatividade residual do álcali.

É importante não se perder de vista o fato de que o entulho é um resíduo, um rejeito, o que significa que ele já cumpriu um papel de uso primário. Para que um resíduo possa ter uma reciclagem primária, é importante que ele não esteja

contaminado com nenhum outro resíduo ou substância. Quanto mais limpo ele estiver, ou mais fácil for a separação do elemento que o contaminou, maior será o seu valor. É sabido que o entulho se trata de um material bastante heterogêneo, e muito provavelmente seja inviável separar seus elementos constituintes. Dessa forma, seu valor é depreciado. Quanto mais ele precisar ser trabalhado para sua utilização, maior será a inviabilidade de seu uso. Deve-se ater ao fato de que o entulho possui limitações em sua qualidade (ou pelo menos seria coerente supor, como a qualquer material reciclado). Dessa forma, ele pode ser utilizado como material alternativo, onde sua qualidade inferior não cause prejuízo, como por exemplo em concretos não estruturais, ou que não sofram grandes solicitações mecânicas.

Neste sentido, é importante lembrar que para determinados usos, deve-se continuar utilizando como agregados, a tradicional areia e brita (como nos concretos estruturais ou de grandes solicitações), e deixar o entulho para aplicações onde as resistências são menos exigidas e não necessitem passar por tantas limitações como as sugeridas pelo "RILEM Recommendation".

O uso de materiais derivados da reutilização dos resíduos de C&D, não se restringe somente à base e sub-base de estradas ou pisos de estacionamentos, como antigamente. Hoje, nos Estados Unidos, segundo KELLY e WILLIAMS (1995), eles são usados em saias de pontes, em fundações, açudes, construções costeiras como contenção de erosão, recifes artificiais, casas, escolas e contenção de enchentes.

LEVY e HELENE (1995) realizaram experimentos utilizando entulho moído para a produção de argamassas de revestimento. Eles selecionaram quatro tipos de materiais que compõem o entulho, e os processaram em moinhos de rolo. Com esse material moído produziram 8 diferentes tipos de misturas que deram origem às argamassas ensaiadas, a partir de traços em massa de material seco, similares aos empregados em obras convencionais, como apresenta a Tabela 24.

As argamassas produzidas com o entulho, apresentaram uma redução de 10% a 15% no consumo de cimento, 100% no consumo de cal e, de 15% a 30% no consumo de areia, além de um ganho de resistência à compressão que varia de

20% a 100%, conforme o traço utilizado, em relação aos valores obtidos com argamassas convencionais obtidos de literatura.

TABELA 24 - Misturas Utilizadas para a Produção de Argamassas

MISTURAS	A	B	C	D	Traço em volume com areia úmida	Traço em massa de materiais secos
M1	100%	--	--	--	1:2,87:8,47	1:2,81:8,16
M2	67%	33%	--	--	1:2,70:8,47	1:2,88:8,16
M3	50%	50%	--	--	1:2,57:8,47	1:2,91:8,16
M4	33%	67%	--	--	1:2,47:8,47	1:2,95:8,16
M5	--	100%	--	--	1:2,34:8,47	1:3,00:8,16
M6	--	--	100%	--	1:3,77:7,27	1:4,92:7,00
M7	--	--	67%	33%	1:3,57:7,27	1:4,66:7,00
M8	--	--	50%	50%	1:3,52:7,27	1:4,56:7,00
A: blocos cerâmicos moídos B: argamassas moídas com resíduos cerâmicos C: blocos de concreto moídos D: argamassas moídas sem resíduos cerâmicos						

Fonte: LEVY e HELENE, 1995.

O estudo demonstrou que todas as argamassas, quando aplicadas em substratos chapiscados, atenderam às especificações da norma brasileira, que sugere 0,25 MPa de resistência à tração aos 28 dias. No entanto, quando aplicadas sobre blocos cerâmicos não chapiscados, a mesma resistência ficou abaixo dos 0,25 MPa especificados.

Os resultados do trabalho de Levy e Helene evidenciam vantagens econômicas na utilização da reciclagem do entulho para a produção de argamassa, tanto no consumo de cimento, como de cal. Porém, a ausência de ensaios com argamassa convencional implicou na falta de parâmetros de comparação do desempenho das misturas, cujos valores de resistência à compressão são apresentados na Tabela 25.

TABELA 25 - Resistência à compressão das misturas testadas

MISTURAS	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)
M1	2,3	4,6
M2	2,3	4,3
M3	3,7	3,0
M4	2,4	2,7
M5	2,1	2,1
M6	3,0	3,0
M7	3,2	3,2
M8	2,5	2,5

Fonte: LEVY e HELENE, 1995.

De acordo com TÉCHNE (1995), outros levantamentos do desempenho da argamassa confeccionada a partir do entulho reciclado, foram realizados por várias empresas privadas, entre elas a Betontec-Tecnologia e Engenharia, a Teste-Engenharia do Concreto e a Testin-Tecnologia de Materiais. Esses trabalhos basearam-se em análises de comparação entre a argamassa tradicional e outra proveniente de entulho, além de alguns ensaios de desempenho do material produzido.

O entulho utilizado foi uma mistura de restos de argamassa, blocos, tijolos cerâmicos, e blocos de concreto quebrados, ou seja, trata-se de um material selecionado, embora não tenha sido especificado as condições em que foram coletados estes elementos.

Os principais resultados demonstraram que o produto feito de entulho chega a apresentar resistência praticamente 3 vezes superior à argamassa tradicional, como mostra a Tabela 26.

Segundo o engenheiro A. Natezon diretor comercial da Anvi (empresa que comercializa um moinho e argamasseira para ser usado em canteiros de obra), *“isso se deve à recuperação das características originais destes materiais que viraram entulho, além da geração de pozolana, que é proveniente da moagem de blocos cerâmicos”*. Ele explica que *“o fato dessa argamassa apresentar muita retenção de água, devido ao entulho, especialmente o argiloso, acaba colaborando*

numa melhor hidratação do cimento e, conseqüente, diminuição na retração e no surgimento de fissuras ao longo do tempo”.

TABELA 26 - Testes com argamassas produzidas com entulho - Testin

Argamassa	Compressão (MPa)		Aderência (MPa)		Retenção de água (%)	Permeabilidade (mm penetração)
	7 dias	28 dias	14 dias	28 dias		
Com entulho	4,0	7,9	0,54	0,71	56,3	36,2
Convencional	1,2	2,7	0,22	0,43	50,6	54,6
Argamassa com entulho: 1 cimento : 2,7 entulho : 5,3 areia Traço: 1 : 8						
Argamassa convencional: 1 cimento : 1,6 cal : 8 areia Traço: 1 : 8						

Fonte: TESTIN - Tecnologia de Materiais Ltda (ANVI, 1995).

A Teste-Engenharia do Concreto realizou uma experiência na qual comparou dois traços de argamassa: um com entulho reciclado, e um segundo, com argamassa feita com cal, água e cimento, com os traços utilizados nas obras analisadas:

- Amostra **A**: 1 cimento : 5,1 entulho : 6,1 areia
- Amostra **B**: 1 cimento : 1,6 cal : 6 areia

No ensaio de arrancamento (Tabela 27), onde a amostra com entulho foi testada aos 24 dias e a tradicional aos 97 dias, os resultados estiveram em torno de 10% maiores para a argamassa de entulho. Quanto à penetração de água, a argamassa de material reciclado apresentou uma taxa menor do que a argamassa tradicional, conforme a Tabela 28 (TÉCHNE, 1995).

TABELA 27 - Ensaio de resistência ao arrancamento

Traço	Idade (dias)	Resistência ao Arrancamento (MPa)
A	24	1,16 / 1,11
B	97	1,07 / 1,05

Fonte: Teste Engenharia do Concreto Ltda, (ANVI, 1995).

TABELA 28 - Ensaio de permeabilidade

Traço	Período de execução	Penetração (ml/ min)
A	48 horas	0,001
B	48 horas	0,375

Fonte: Teste Engenharia do Concreto Ltda, 1995².

Nos ensaios realizados pela empresa Betontec Tecnologia e Engenharia, apresentados na Tabela 29, onde se usou cal e areia nas duas amostras, os resultados não foram tão expressivos como nos testes realizados pela Testin Tecnologia de Materiais, que não empregou estes dois materiais na amostra que continha entulho (Tabela 26).

TABELA 29 - Testes com argamassas produzidas com entulho - Bentotec

Traço	Resistência à Compressão (MPa)	
A	23 - 18 - 20 - 18 - 20 - 21	
B	24 - 23 - 28 - 24 - 26 - 29	
Traço A:	1 cimento : 2,7 entulho : 5,3 areia	Traço: 1 : 8
Traço B:	1 cimento : 1,6 cal : 8 areia	Traço: 1 : 8

Fonte: Bentotec Tecnologia e Engenharia, (ANVI, 1995).

De acordo com CONSTRUÇÃO (1996a), dependendo do tipo do britador usado, que definirá a granulometria do agregado, o material reciclado ainda pode ser usado como sub-base para pavimentação de vias, pré-moldagem de tampas de bueiros ou sarjetas, cascalhamento de vias, obras de contenção de encostas ou para fabricação de blocos de alvenaria.

Seguindo esta linha, a prefeitura de São Paulo, construiu entre 1992 e 1993, a primeira obra feita com blocos de entulho reciclado no país. Um alojamento de 190 m² nas dependências da Usina de Asfalto Municipal, no bairro da Barra Funda. Testes realizados pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo demonstraram um bom desempenho do resíduo utilizado em ensaios de abrasão, compressão e absorção, indicando seu uso para a fabricação de briquetes, lajes, guias de sarjetas, bocas-de-lobo, tampas de caixa de inspeção, mourões, blocos e

com algumas restrições, como argamassa para alvenaria. Não se aconselha, porém, o uso no concreto estrutural. Estudos indicam que, dependendo da sofisticação tecnológica exigida da nova peça, o barateamento dos componentes de construção feitos com resíduos de C&D, estaria entre 45% e 80%. No caso específico dos blocos produzidos com material de Itatinga, o custo seria 70% menor. Estimulada com esse desempenho a Emurb - Empresa Municipal de Urbanização (SP), realizou estudos para implantar uma fábrica de blocos junto à usina de reciclagem de entulho de Itatinga, com capacidade de produção avaliada em 20 mil unidades por dia (CONSTRUÇÃO, 1993).

Um outro exemplo é Belo Horizonte, onde a primeira usina de reciclagem de entulho da cidade funciona desde novembro de 1995. A cidade prevê em seu programa de reciclagem, a utilização do resíduo em várias frentes de trabalho, tais como: *“sub-base ou tratamento primário de ruas (4 mil m/mês); briquetes para calçadas (35 mil m/mês); blocos para vedação (40 mil m/mês); agregados para ‘rip-rap’, usado em contenções de encostas ou canalizações (1,8 mil m/mês); blocos para alvenaria de 920 mil casas populares com 40 mil m² por mês, ou em agregados para produção de tubos, guias, sarjetas e bocas de lobo”* (TÉCHNE, 1995).

HAMASSAKI, SBRIGHI e FLORINDO (1996), abordaram a reciclagem do entulho na produção de argamassa de alvenaria, simulando a reutilização do resíduo no próprio local gerador. Partindo do traço referência 1:6 (cimento: areia; em volume), eles utilizaram fragmentos de demolição do próprio instituto de pesquisa onde trabalham, o IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), como blocos de concreto, blocos cerâmicos e tijolos, para substituir o agregado na confecção de alvenaria.

As misturas utilizadas foram divididas em sete tipos e três séries, conforme a Tabela 30.

Para uma quantidade de água estabelecida para cada mistura, de forma a manter uma consistência de 250 ± 10 mm, os seguintes valores foram obtidos:

Relação água/ aglomerante: exceto para as argamassas do tipo III (67% areia natural e 33% tijolos), as relações água/aglomerantes das argamassas com resíduos foram sempre um pouco menores ou iguais em relação à argamassa de referência.

TABELA 30 - Proporção das misturas de argamassas (em volume)

Material	Tipo de argamassa						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
cimento	1	1	1	1	1	1	1
cal (série 1)	0	0	0	0	0	0	0
cal (série 2)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
cal (série 3)	1	1	1	1	1	1	1
areia natural	6	4	4	4	4	2	---
bloco cerâmico	---	2	---	---	0,25	0,5	0,75
tijolo	---	---	2	---	0,25	0,5	0,75
bloco de concreto	---	---	---	2	1,5	3	4,5

Fonte: HAMASSAKI, SBRIGHI e FLORINDO, 1996.

Retenção de água: a quantidade de cal presente nas misturas influenciou a retenção de água, conforme os valores relativos mostrados na Tabela 31.

TABELA 31 - Valores relativos da retenção de água medida nas misturas

Grupo	sem cal	cal a 0,5	cal a 1,0
I	1,0	1,0	1,0
II	0,7	1,1	0,8
III	3,5	1,2	1,0
IV	1,6	1,1	0,8
V	0,8	0,9	0,8
VI	2,2	0,9	0,8
VII	3,2	0,9	0,8

Fonte: HAMASSAKI, SBRIGHI e FLORINDO, 1996.

As alterações mais significativas nos valores de retenção, são verificadas somente nas argamassa sem cal, que chegam a ser 3,5 vezes maiores que a

retenção obtida nos traços de referência. Observa-se ainda, que o aumento do teor de cal provocou uma diminuição nos valores relativos da retenção de água.

Retração por secagem: as argamassas tipo III, VI e VII (para todas as séries), apresentaram os maiores valores de retração por secagem, ficando em torno de 100% maiores que a argamassa de referência.

Resistência à compressão: todas as argamassas tiveram resistência à compressão aos 7 dias, semelhantes às obtidas na argamassa de controle. Já aos 28 dias, ocorreram algumas diferenças, que estão apresentadas na Tabela 32.

TABELA 32 - Comparação da resistência à compressão aos 28 dias das misturas analisadas

Argamassa	sem cal	cal a 0,5	cal a 1,0
I	referência	referência	referência
II	≈	10 a 20 % > *	42 a 55 % > *
III	≈	10 a 20 % > *	42 a 55 % > *
IV	≈	10 a 20 % > *	42 a 55 % > *
V	≈	10 a 20 % > *	42 a 55 % > *
VI	30 % > *	30 % > *	42 a 55 % > *
VII	60 % > *	50 % > *	80 % > *
≈ : valores semelhantes aos obtidos na argamassa de referência * : valores maiores que os obtidos na argamassa de referência			

Fonte: HAMASSAKI, SBRIGHI e FLORINDO, 1996.

Como pode-se observar, os melhores resultados foram obtidos pelas argamassas do tipo VII, que foi composta por 80% de resíduo de blocos de concreto, 10% de tijolos e 10% de blocos cerâmicos. Segundo os autores, isso ocorreu possivelmente devido aos grãos dos resíduos de blocos de concreto apresentarem alta rugosidade superficial. Eles detectaram que, a principal diferença entre os agregados ensaiados em relação à sua forma, é a textura dos grãos. Enquanto a areia natural tem os grãos quase polidos, as partículas de blocos cerâmicos e tijolos são levemente ásperas e as dos blocos de concreto apresentam superfície altamente áspera.

No entanto, observando a Tabela 30, nota-se que a principal diferença existente nas misturas (levando-se em conta os valores da resistência à compressão aos 28 dias), não é a presença do resíduo de concreto que produziu os melhores valores de resistência, mas a ausência da areia natural. Pode-se verificar que as amostras tipo II, III, IV e V, que possuem a mesma quantidade de areia e diferentes porcentagens de cada resíduo, possuem praticamente as mesmas resistências, enquanto as amostras VI e VII que decrescem na quantidade de areia utilizada, aumentam suas resistências.

Como a principal diferença entre a areia natural e os demais resíduos utilizados é a textura dos grãos, como já foi citado, e suas granulometrias, como pode-se ver na Tabela 33, qualquer dos dois fatores pode ter contribuído para as diferenças de resistências encontradas.

TABELA 33 - Análise Granulométrica dos agregados utilizados na pesquisa de Hamassaki, Sbrighi e Florindo

Abertura (mm)	Porcentagem retida			
	Areia Natural	Bloco Cerâmico	Tijolo	Bloco de Concreto
4,8	2	—	—	—
2,4	2	24	24	22
1,2	8	18	17	17
0,6	22	20	18	22
0,3	29	15	14	19
0,15	30	13	14	12
	7	10	13	8

Fonte: HAMASSAKI, SBRIGHI e FLORINDO, 1996 (Modificada).

Pode-se observar que os resíduos são formados por uma granulometria mais espessa (peneiras 2,4 mm e 1,2 mm) que a areia natural, que por sua vez caracteriza-se como um material mais fino (peneiras 0,3 mm e 0,15 mm).

Na mesma pesquisa, os autores estudaram ainda o efeito pozolânico dos resíduos estudados, utilizando o ensaio La Chapelle modificado (mistura-se 1 g da amostra com 1 g de óxido de cálcio em dispersão aquosa, em “banho maria” com

temperatura próxima da fervura, sob agitação, por um período de 16 horas. Para que ocorra a pozolanicidade, a quantidade de CaO consumido deve ser maior que 330 mg. Nenhum dos materiais foi considerado pozolânico.

LEVY e HELENE (1996), produziram 8 (oito) tipos de argamassas de revestimento com diferentes teores de argamassa e de materiais cerâmicos reciclados, e analisaram a evolução de suas propriedades.

O resíduo foi obtido pela moagem de argamassas mistas, blocos cerâmicos e tijolos maciços de diferentes procedências. As misturas foram compostas de acordo com a Tabela 34.

TABELA 34 - Composição das misturas utilizadas na produção das argamassas

Mistura	Materiais cerâmicos	Argamassas endurecidas
M_C (início da obra)	100%	0%
M_{Ca} (meio da obra)	66%	34%
M_{CA} (meio da obra)	34%	66%
M_A (final da obra)	0%	100%

Fonte: LEVY e HELENE, 1996.

Os autores utilizaram os traços 1:3:8 e 1:1,5:6 (cimento: entulho: areia; em volume), para cada mistura, totalizando assim, os 8 (oito) tipos de argamassas. Eles concluíram que, nas argamassas no estado fresco, as propriedades como retenção de água, e relação a/c, aparentemente não são afetadas pela variação da composição do entulho utilizado.

Já no material endurecido, Levy e Helene detectaram um crescimento de resistência à compressão para um aumento do teor de materiais cerâmicos nas argamassas, e esse aumento é mais acentuado quanto mais rico for o traço. O mesmo aconteceu na resistência à tração da argamassa, porém o aumento não foi tão acentuado para o traço mais rico, como na resistência à compressão.

De acordo com os pesquisadores, a grande diferença constatada nos valores das propriedades mecânicas para as argamassas com material cerâmico e sem material cerâmico pode ser atribuída ao efeito pozolânico deste material, detectado no ensaio do Método La Chapelle modificado, e da grande quantidade de materiais pulverulentos existente no entulho cerâmico (30,4 %).

SILVA, SOUZA e SILVA (1996) analisaram a utilização da fração granulométrica do entulho de material cerâmico inferior a 0,15 mm para identificar a possibilidade de sua utilização substituindo uma parcela do aglomerante (nos teores 10, 20 e 30%). Utilizando uma relação a/c igual a 0,48, eles obtiveram os valores apresentados na Tabela 35.

TABELA 35 - Resistência à compressão de corpos de prova de argamassa confeccionada com entulho de material cerâmico

Substituição do aglomerante	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)	63 dias (MPa)
0 %	21 (100 %)	33 (100 %)	39 (100 %)
10 %	20 (95 %)	31 (94 %)	33 (85 %)
20 %	16 (76 %)	28 (85 %)	31 (75 %)
30 %	14 (67 %)	24 (73 %)	28 (72 %)

Fonte: SILVA, SOUZA E SILVA, 1996 (Valores aproximados, obtidos de gráfico)

Em relação à porcentagem de aglomerante substituída pelo entulho, observa-se que, com o aumento desta substituição, a resistência à compressão sofre uma queda, onde a diferença em relação ao valor de referência se encontra, aos 63 dias, entre 15% e 28%.

Analisando as idades estudadas, verifica-se que, com o passar do tempo, a diferença em relação ao valor de referência, tende a manter-se constante, com exceção de quando se substitui 10% do material aglomerante, quando então a diferença tende a aumentar, devido aos altos valores iniciais (7 dias) obtidos, que chegaram a 95% do valor de referência.

Em estudos posteriores, SILVA, SOUZA e SILVA (1996) prepararam amostras com entulho de argamassa de revestimento (ER), entulho de concreto

(ECo), entulho de argamassa de revestimento e material cerâmico (EA+EC), e uma amostra preparada aleatoriamente com argamassa de revestimento, material cerâmico e concreto (Eal). Embora não sejam claros em sua exposição, deduz-se que eles estudaram a evolução da resistência mecânica de argamassa de revestimento, utilizando-se estes materiais em substituição ao agregado (fração inferior a 4,8 mm). Tais resultados estão indicados na Tabela 36.

TABELA 36 - Resistência à compressão de argamassa confeccionada com diferentes tipos de entulho

Tipo de Entulho utilizado	7 dias (MPa)	28 dias (MPa)
Referência	14 (100 %)	27 (100 %)
ER	21 (150 %)	32 (119 %)
ECo	17 (121 %)	30 (111 %)
EA+EC	20 (143 %)	28 (104 %)
Eal	20 (143 %)	30 (111 %)

Fonte: SILVA, SOUZA E SILVA, 1996 (Valores aproximados, obtidos de gráfico)

Pode-se observar que, todas as substituições do agregado miúdo na confecção de argamassa foram positivas, quando foram avaliadas suas resistências à compressão. Não houve diferenças significativas nos resultados obtidos com as amostras homogêneas daquele obtido com a amostra aleatória, o que inviabiliza, para esta utilização, e para este caso estudado, a separação dos componentes do entulho.

Estudos de VAN ACKER (1996), revelaram que usando-se até 10% de agregado graúdo reciclado na produção de concreto, não há nenhuma mudança significativa na resistência à compressão alcançada, em relação a um concreto de referência feito com agregados convencionais. O uso de concreto reciclado graúdo, gerou melhores resultados do que o obtido com o material miúdo. O uso de 10% desse material reduziu em cerca de 17% a resistência do concreto, enquanto que, a utilização de 10% de agregado graúdo + miúdo (ambos reciclados) reduziu entre 11 e 29% a resistência do concreto obtido.

Segundo Offermann (1987), os exames atestam que o entulho de construção beneficiado apresenta boas características como material de construção, embora ainda haja a necessidade de mais pesquisas nesse assunto. Novos trabalhos e ensaios diversos que possam avaliar outras características dos materiais feitos a partir do entulho reciclado, como a durabilidade, são necessários. É evidente, no entanto, que o entulho poderá conquistar nos próximos anos a parte de mercado de construção a que ele cabe.

3.12 CONCLUSÃO

Embora o processo de reciclagem industrial do entulho seja ainda um tópico recente na história da construção civil mundial (tendo adquirido um maior vulto apenas na segunda metade da década de 80), e muitas pesquisas e testes práticos ainda precisem ser realizados para seu melhor conhecimento, são inegáveis os níveis de contribuições que esse processo proporciona.

A reciclagem de resíduos como materiais de construção, permite amenizar o significativo impacto ao meio ambiente, gerado pela produção de materiais de construção civil, da seguinte forma:

- conservação de matérias primas não renováveis;
- redução do consumo de energia;
- redução de custos;
- minimização da poluição futura (emissão de poluentes, como CO₂, e da geração de resíduos);
- desenvolvimento mais sustentável;
- melhoria da saúde e segurança da população e preservação do meio ambiente.

Segundo o ENBRI (European Network of Building Research Institutes) a construção civil absorve cerca de 4,5% da energia total consumida, 84% na fase de produção de materiais (ENBRI, 1994). Isto representa uma enorme e indispensável economia a qualquer país.

No entanto, é preciso cuidado com a simples substituição dos materiais convencionais pelos reciclados. É importante reafirmar que se trata de um material alternativo, e portanto com limitações. Para KELLY e WILLIAMS (1995), decidir sobre o uso de materiais reciclados a partir de resíduos depende de um número de variáveis, entre elas as listadas a seguir:

- pode o novo material resistir adequadamente a todas as cargas de uso ?
- não compromete a qualidade padrão do material ?
- é o material de qualidade consistente, não prejudicado pela heterogeneidade do resíduo ?
- atualmente, o uso do material reduz acima de tudo o impacto ambiental ?
- ele pode ser produzido a custos compatíveis aos materiais padrões ?
- pode o resíduo ser adequadamente mantido ou embalado, sem provocar danos ao consumidor, ao ambiente ou aos trabalhadores que lidam com o material ?

Talvez mais importante do que saber responder à estas perguntas, é ter bom senso na hora de se utilizar os materiais reciclados.

Finalizando, a reciclagem representa muito mais que uma maneira de diversificar e aumentar a oferta de materiais de construção, viabilizando eventualmente reduções de preço. Segundo JOHN (1996), ela pode gerar benefícios sociais adicionais, através de uma política habitacional, favorecida pela adoção de medidas de incentivo específicas para a produção de habitações de baixa renda, utilizando-se produtos reciclados de desempenho comprovado. Desta forma, a reciclagem dos resíduos de construção civil, pode combinar a preservação do meio ambiente com o aperfeiçoamento de políticas sociais.

4 METODOLOGIA

Uma síntese dos procedimentos experimentais executados neste trabalho está ilustrada na Figura 3, onde estão indicadas as 3 fases da seqüência metodológica utilizada, abaixo descritas:

- **Fase preparatória:** representada pela coleta e por toda a preparação e análise do resíduo para a sua posterior utilização;
- **Fase inicial:** onde se realizaram os testes preliminares para se avaliar, de forma rápida (aos 7 dias), a resistência à compressão do concreto produzido com o entulho, e estimar sua resistência em idades mais elevadas e, conseqüentemente, a viabilidade de realização da pesquisa;
- **Fase final:** constituída pela grande maioria dos ensaios, foi a principal etapa fornecedora de subsídios para a avaliação da qualidade dos concretos produzidos.

A explanação detalhada destas 3 fases será realizada considerando-se as seguintes etapas:

- a) coleta das amostras do entulho;
- b) caracterização qualitativa do resíduo;
- c) caracterização granulométrica do resíduo;
- d) determinação da massa específica aparente do entulho;
- e) confecção dos corpos de prova;
- f) ensaios da resistência do concreto à compressão simples;
- g) ensaios da resistência do concreto ao desgaste por abrasão;
- h) ensaios de permeabilidade do concreto.

- FASE PREPARATÓRIA
- FASE INICIAL
- FASE FINAL

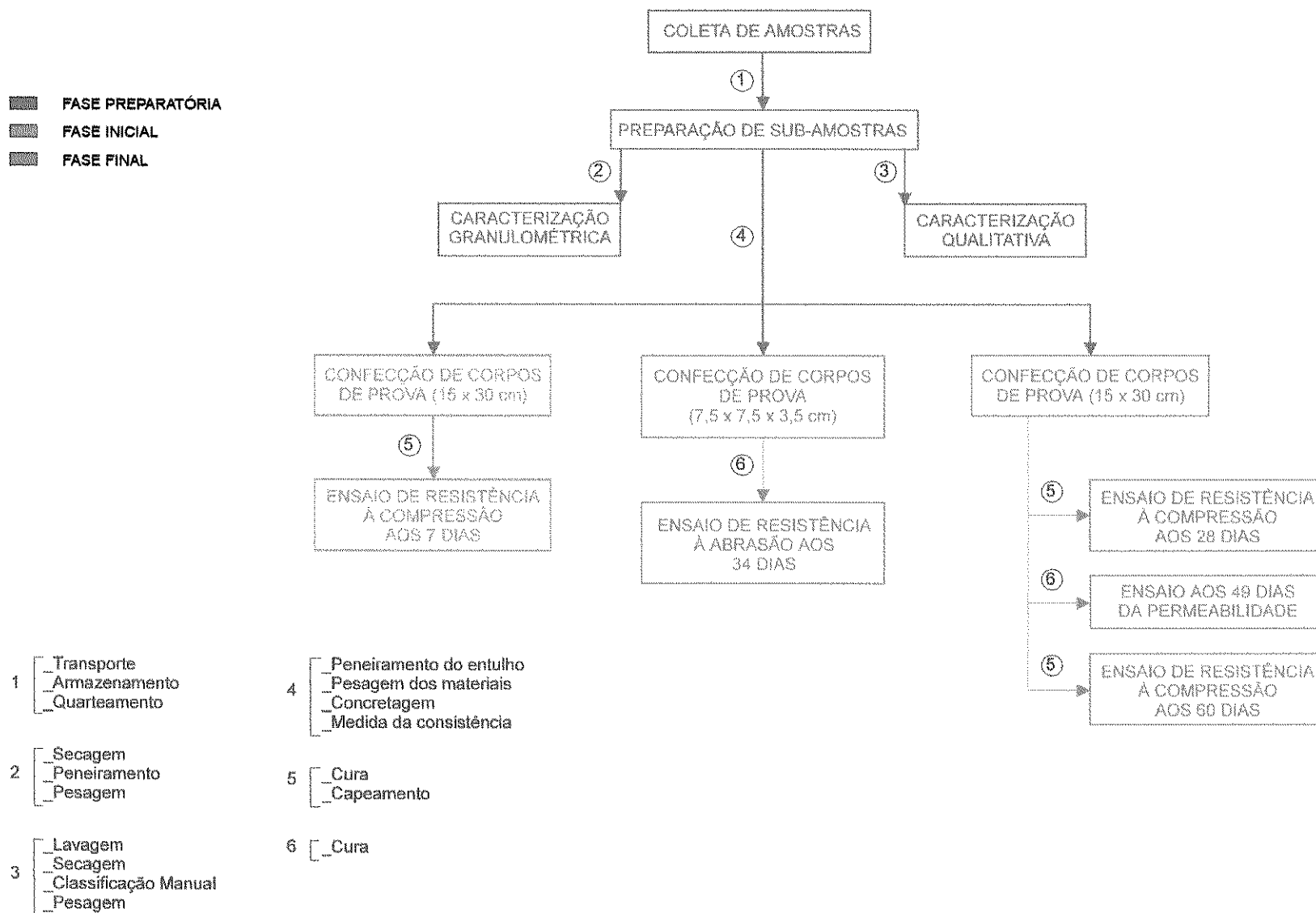


Figura 3 - Fluxograma do procedimento experimental

4.1 COLETA DAS AMOSTRAS DO ENTULHO

As amostras foram obtidas seguindo-se as prescrições da *NBR 10007/ 87 - "Amostragem de Resíduos"* que fixam as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de resíduos sólidos.

4.1.1 Local da Amostragem

As amostras do resíduo de C&D, objeto de estudo desta pesquisa, foram obtidas na usina de reciclagem de entulho localizada no Bairro Adelino Simione, na cidade de Ribeirão Preto, interior do estado de São Paulo (Foto 1, Anexo A).

As coletas foram feitas no final da linha de produção da usina, ou seja, nas pilhas do resíduo já triturado.

4.1.2 Número de Coletas

Com o objetivo de obter amostras representativas do entulho a ser analisado, programou-se, inicialmente, a realização de cinco coletas, uma por semana, em dias semanais distintos. Porém, devido aos problemas ocorridos com o transporte dos resíduos da cidade de Ribeirão Preto à cidade de Campinas, fez-se necessário reduzir o número de coletas para apenas quatro, sem afetar contudo, a sua representatividade, uma vez que misturaram-se em cada coleta, resíduos de vários dias. Desta forma, a coleta aproximou-se muito do sistema de funcionamento real da usina, que mistura o material de vários dias, antes de triturá-lo.

A Tabela 37, mostra os dias em que foram efetuadas as coletas, e a denominação dada a cada uma das amostras. As amostras A, B, C e D serão identificadas como amostras de campo, para não serem confundidas com as amostras de laboratório utilizadas nos diversos ensaios realizados.

TABELA 37 - Datas das coletas e denominação das amostras obtidas

Coleta	Data	Amostra
1 ^a	26/ setembro/ 96	A
2 ^a	04/ outubro/ 96	B
3 ^a	25/ outubro/ 96	C
4 ^a	30/ outubro/ 96	D

4.1.3 Forma de Coleta

Com o auxílio de uma pá-carregadeira o entulho foi retirado da base, do meio e do topo das pilhas, conforme prescreve a *NBR 10007/ 87 - "Amostragem de Resíduos"*, e colocado em tambores de 200 litros (1^a e 2^a coletas), ou diretamente na caçamba do veículo que efetuou o transporte (3^a e 4^a coletas).

4.1.4 Quantidade Coletada

Nas duas primeiras coletas, 5 tambores de 200 litros parcialmente cheios foram obtidos em cada uma. Nas duas últimas (3^a e 4^a coletas), em torno de 1 tonelada de entulho foi transportada em cada uma das coletas.

4.1.5 Armazenamento

As amostras foram armazenadas num pátio de estacionamento de piso asfáltico, e protegidas por lonas plásticas para evitar a perda de material devido às chuvas e ao vento.

A Foto 2 (Anexo A) apresenta uma das 4 amostras coletadas, mostrando a quantidade, a qualidade visual do material e, ao fundo, a forma de armazenamento.

4.2 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO RESÍDUO

Com o objetivo de se obter a porcentagem existente de cada constituinte do resíduo, efetuou-se uma análise qualitativa das amostras coletadas.

4.2.1 Quantidade de Resíduo Avaliada

Utilizando-se o processo de quarteamento, definido pela NBR 9941/ 87 - “*Redução de Amostra de Campo de Agregados para Ensaios de Laboratório*”, foram separadas para cada amostra (A, B, C e D) duas frações de aproximadamente 25 a 30 kg para a faixa 1, e 15 a 20 kg para a faixa 2.

4.2.2 Granulometria Analisada

Duas faixas granulométricas foram analisadas:

- *faixa 1*: material retido na peneira 4,8 mm;
- *faixa 2*: material passante na peneira 38 mm e retido na 4,8 mm.

O limite inferior de 4,8 mm das duas faixas, foi adotado porque a separação foi feita “a olho nu”, o que impede que os materiais menores possam ser identificados. A faixa 1 foi estudada pois representa todo o entulho graúdo produzido pela usina (acima de 4,8 mm) e a faixa 2 porque corresponde a mesma usada na confecção dos corpos de prova.

4.2.3 Metodologia Utilizada

O material inicialmente foi lavado para eliminar a porção fina aderente à superfície dos grãos, que pudessem dificultar a identificação da natureza da partícula. Depois, ele permaneceu em estufa, sob uma temperatura de 105 a 110 °C até constância de massa, para eliminar a água absorvida. Após esse período, o resíduo foi separado manualmente de acordo com sua composição:

- pedras;
- concreto;
- material cerâmico;
- argamassa; e
- outros (vidro, madeira, papel, metal, plástico, amianto, etc.).

e pesado numa balança com precisão de grama. A partir das massas obtidas, chegou-se à porcentagem de cada um dos constituintes do entulho.

4.3 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA DO RESÍDUO

A análise da granulometria das amostras de entulho foi realizada segundo a *NBR 7217/ 87 - "Agregado - Determinação da Composição Granulométrica"*, que prescreve o método para determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos, destinados ao preparo do concreto.

4.3.1 Peneiras Utilizadas

As peneiras da série normal e intermediária utilizadas para a determinação da granulometria do resíduo estão apresentadas na Tabela 38.

TABELA 38 - Peneiras utilizadas na caracterização granulométrica

Série Normal	Série Intermediária
---	50 mm
38 mm	---
---	32 mm
---	25 mm
19 mm	---
---	12,5 mm
9,5 mm	---
---	6,3 mm
4,8 mm	---
2,4 mm	---
1,2 mm	---
0,6 mm	---
0,3 mm	---
0,15 mm	---

4.3.2 Quantidade de Resíduo Avaliada

De acordo com a *NBR 7217/ 87*, foram formadas duas amostras de resíduo para cada amostra de campo (A, B, C e D), contendo cada uma, uma massa mínima de 30 kg. As amostras foram obtidas pelo método de quarteamento, conforme apresenta a *NBR 9941/ 87*.

4.3.3 Metodologia Utilizada

Após serem obtidas as amostras de laboratório, elas foram colocadas na estufa, sob uma temperatura de 105 a 110 °C até constância de massa (cerca de 15 horas). Suas massas foram medidas e efetuou-se então o peneiramento de cada amostra, separadamente, com o auxílio de um agitador mecânico (montado com as peneiras de 4,8 mm até 50 mm). Seguindo os procedimentos indicados pela *NBR 7217/ 87*, foram medidas as massas das frações retidas e acumuladas em cada peneira e obtidas as porcentagens que esses valores representaram. Também efetuou-se o cálculo da dimensão máxima característica e do módulo de finura para cada amostra. Assim, os valores finais para a análise granulométrica do agregado graúdo (material retido na peneira 4,8 mm, segundo a *NBR 7211/ 83*) foram obtidos tirando-se as médias dos valores de cada par de amostra.

Para cada amostra de laboratório, peneirou-se novamente todo o material passante na peneira 4,8 mm (agora com o agitador mecânico montado com as peneiras de 0,15 mm até 2,4 mm) e repetiu-se todo o procedimento utilizado para o agregado graúdo. Dessa forma, foi determinada a análise granulométrica dos agregados miúdos.

4.4 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE DO ENTULHO

Os ensaios para a determinação da massa específica, ou massa unitária do entulho, seguiram as recomendações da *NBR 7251/ 82 - "Agregado em Estado Solto. Determinação da Massa Unitária"*.

4.4.1 Material Analisado

Para se obter as características do material tanto na sua forma utilizada na pesquisa, como naquela encontrada no local da coleta, foram determinadas as massas específicas de 3 frações distintas do entulho:

- integral: material nas condições encontradas no local da coleta;
- gráudo: material passante pela peneira 38 mm e retido na 4,8 mm; e
- miúdo: material passante pela peneira 4,8 mm.

4.5 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para a confecção dos corpos de prova foram seguidas as recomendações da *NBR 5738/ 84 - "Moldagem e Cura de Corpos de prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos"*, que prescreve o procedimento de moldagem, desforma, transporte, cura e preparo dos topos dos corpos de prova, destinados à avaliação das qualidades intrínsecas do concreto. Também foram utilizadas as especificações das normas *NBR 7223/ 82 - "Concreto - Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone"*, para se determinar a consistência do concreto no laboratório.

4.5.1 Material Utilizado

Para a confecção dos corpos de prova, utilizaram-se os seguintes materiais:

4.5.1.1 Material Aglomerante

Durante toda a pesquisa o cimento utilizado foi o CP II E - 32, por tratar-se de um material de fácil disponibilidade no mercado e, principalmente, por ser o cimento geralmente utilizado na produção dos elementos construtivos não estruturais, sugeridos para serem produzidos com o entulho, como as guias, sarjetas, lajotas para pavimentos, etc.

4.5.1.2 Agregado

Além do entulho utilizado no concreto objeto de análise desta pesquisa, usou-se também areia grossa tradicional e brita nº 1, para a confecção dos concretos de referência, destinados à comparação dos resultados. Foram utilizados tais agregados, por se tratar dos materiais empregados tradicionalmente para a produção das guias, sarjetas, mourões, etc.

4.5.1.3 Granulometria

areia: a granulometria da areia utilizada, obedece aos limites da “Zona 4”, definidos pela *NBR 7211/ 83 - “Agregado para concreto”*, e portanto caracterizada como areia grossa.

brita: a brita utilizada foi a de graduação 1 (brita 1), que conforme a *NBR 7211/ 83*, possui granulometria variando entre 4,8 mm e 19 mm.

resíduo miúdo: na primeira fase da pesquisa, utilizou-se duas faixas granulométricas distintas de entulho. O objetivo foi avaliar o comportamento da resistência à compressão do concreto, diante da grande quantidade de material mais fino (passante pela peneira 0,3 mm) presente no resíduo, aparentemente composto de grande quantidade de terra. As faixas utilizadas foram:

a) Faixa E₁: material passante pela peneira 38 mm e retido pela peneira 0,15 mm;

b) Faixa E₂: material passante pela peneira 38 mm e retido pela peneira 0,3 mm;

Na segunda fase do trabalho, utilizou-se como agregado miúdo, toda a porção de entulho passante pela peneira 4,8 mm, por duas razões.

Primeiro, por que os resultados da primeira fase não apresentaram diferenças significativas na resistência mecânica do concreto, quando deixou-se de utilizar a porção mais fina do agregado (menor que 0,3 mm), o que não justificaria a eliminação da fração passante pela peneira 0,3 mm.

Em segundo lugar, porque separar a fração de agregado menor que 0,15 mm, seria comercialmente inviável (além do processo mecânico utilizável para o peneiramento, o material teria que passar antes por uma estufa), sendo que se trata de um agregado alternativo, e portanto de menor valor comercial. A Foto 3 (Anexo A) mostra o agregado miúdo de duas amostras utilizadas (D e C).

A fração do resíduo passante pela peneira 0,15 mm, não foi analisada porque estava limitada a menos de 5% da quantidade de agregado, e se presente no concreto, poderia apenas beneficiar seu desempenho mecânico, agindo como “filler” (partículas extremamente finas como a microssilica, que quando adicionadas ao concreto diminuem a fragilidade da zona de transição, conferindo-lhe não só mais resistência à compressão, mas também reduzindo sua permeabilidade).

resíduo graúdo: a faixa granulométrica do entulho utilizado como agregado graúdo foi todo o material passante pela peneira 38 mm, conforme mostra a Foto 4 (Anexo A), que apresenta uma das amostras utilizadas. Esta peneira foi definida em função da curva granulométrica do entulho, tendo como meta, o aproveitamento da maior quantidade possível do material produzido pela usina, desde que suas dimensões pudessem ser aplicadas à confecção dos elementos construtivos propostos no escopo da pesquisa (guias, sarjetas, bocas de lobo, mourões, etc.). Dessa forma, como essa peneira excluía apenas cerca de 1,5% a 3% do material, ela foi adotada como limite superior à dimensão dos agregados.

4.5.1.4 Dimensão dos corpos de prova

Os corpos de prova dos ensaios propostos, foram os tradicionalmente utilizados para a avaliação das características dos concretos convencionais, com formato cilíndrico, cujas dimensões que estão de acordo com a *NBR 5738/ 84 - "Moldagem e Cura de Corpos de Prova de Concreto, Cilíndricos ou Prismáticos"*, são:

- diâmetro: 15 cm, e
- altura: 30 cm.

Os corpos de prova destinados aos ensaios de abrasão, foram confeccionados de acordo com as medidas exigidas pelo ensaio executado, ou seja, 7,5 x 7,5 x 3,5 cm.

4.5.1.5 Traços utilizados

O ponto de partida para a definição dos traços utilizados, foi a sugestão de profissionais que trabalham com a reciclagem de resíduos de construção⁴:

- *"para a confecção de sarjetas, guias, bocas de lobo e lajotas para pavimentos, utilizar o traço 1:4,5 (cimento: entulho)"*;
- *"para a confecção de mourões, utilizar o traço de 1:6"*.

A partir desses valores, e tendo como objetivo traçar uma curva relacionando os diferentes traços utilizados (ou relação a/c) às resistências dos concretos obtidas com cada um, definiram-se três traços, em massa, que comportaram as sugestões. Os traços definidos foram 1:3 ; 1:5 e 1:7.

Na primeira fase do trabalho, usou-se apenas o traço intermediário (1:5), já que se tratava de uma pré-averiguação da qualidade do concreto obtido, e na fase final os três traços foram utilizados.

⁴ Sugeridos pelo Arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, de acordo com testes realizados.

Como trata-se de um traço composto, a razão entre o agregado graúdo e agregado miúdo, foi obtida através de estudo de dosagem, onde se identificou visualmente⁵, qual a porcentagem de cada elemento que proporcionou a melhor trabalhabilidade. A relação definida foi de 50% de agregado graúdo para 50% de agregado miúdo (incluindo o cimento).

4.5.1.6 Relação água/ cimento

A relação água/ cimento utilizada na fase final, em cada traço e para cada amostra, foi definida por tentativas, de forma a se obter a consistência preestabelecida. Para o concreto confeccionado com o entulho, esta consistência foi definida durante o estudo de dosagem (fase inicial da pesquisa) e estipulada, em abatimento, de 3 ± 1 cm. Este valor foi determinado visualmente⁵, considerando-se como valores de contorno a melhor trabalhabilidade do concreto e o menor consumo de água.

Para o concreto feito com os agregados tradicionais, que foi utilizado como elemento de referência, a consistência adotada foi de 5 ± 1 cm, obtida da mesma forma que a do concreto com entulho.

4.5.1.7 Quantidade de corpos de prova

Corpos de prova com entulho: na etapa inicial, utilizou-se um total de 24 corpos de prova, sendo 12 confeccionados com entulho da faixa granulométrica E_1 , e os outros 12 com a faixa granulométrica E_2 . Para cada amostra foram feitos 6 corpos de prova, como mostra a Tabela 39.

Na fase final, foram confeccionados 28 corpos de prova de 15 x 30 cm para cada traço, o que correspondeu a 21 CPs por amostra, e um total geral de 84 CPs, como pode-se ver na Tabela 40. Além disso, mais 8 corpos de prova de 7,5 x 7,5 x

⁵ Definida pela experiência do Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon.

3,5 cm, dois para cada amostra, destinados aos ensaios de abrasão, fizeram parte desta etapa.

TABELA 39 - Quantidade de corpos de prova utilizados na fase inicial

AMOSTRAS	Faixa E ₁	Faixa E ₂
A	3	3
B	3	3
C	3	3
D	3	3
Total	12	12

TABELA 40 - Quantidade de corpos de prova confeccionados com entulho, utilizados na fase final

DIMENSÃO (cm)				
15 x 30 (diâmetro x altura)				7,5 x 7,5 x 3,5
T r a ç o s				T r a ç o
AMOSTRAS	1:3	1:5	1:7	1:5
A	7	7*	7	2
B	7	7*	7	2
C	7	7*	7	2
D	7	7*	7	2
Total	28	28	28	8
* Utilizados também no ensaio de permeabilidade				

Corpos de prova de referência: estes CPs foram confeccionados apenas na fase final da pesquisa, num total de 12 CPs de 15 x 30 cm, destinados à avaliação da resistência à compressão e permeabilidade, e 2 CPs de 7,5 x 7,5 x 3,5 cm, para a aferição da resistência à abrasão (Tabela 41).

4.5.1.8 Confecção dos corpos de prova

Os concretos foram preparados com o auxílio de 2 betoneiras, com capacidades para 30 e 100 litros, sendo a primeira utilizada na fase inicial e a segunda na fase final da pesquisa. Na confecção dos CPs utilizados para os

ensaios de abrasão, o concreto foi preparado manualmente, devido à sua reduzida quantidade.

TABELA 41 - Quantidade de corpos de prova de referência, utilizados na fase final

DIMENSÃO (cm)			
15 x 30 (diâmetro x altura)			7,5 x 7,5 x 3,5
T r a ç o s			Traço
1:3	1:5	1:7	1:5
4	4*	4	2
* Dos quais, 2 foram utilizados também no ensaio de permeabilidade			

Inicialmente a fração graúda do entulho (todo material passante na peneira 38 mm e retido na 4,8 mm) foi colocada na betoneira, com cerca de 70 % da água de amassamento. Como o entulho apresenta uma alta absorção, deixou-se esta mistura na betoneira ligada, por cerca de 4 a 5 minutos, tentando-se evitar que a água necessária para a reação do cimento fosse absorvida pelo agregado graúdo, quando a mistura estivesse completa.

Depois desse procedimento, adicionou-se o cimento, a fração miúda do entulho e o restante da água, até que a consistência adotada para o concreto fosse atingida. A medida da consistência foi feita pelo abatimento do tronco de cone, conforme prescreve a ABNT (1982a). Atingido o valor prescrito, os corpos de prova foram moldados.

As fôrmas previamente untadas com desmoldante foram preenchidas com o concreto e o mesmo foi adensado mecanicamente, com o auxílio de uma mesa vibratória, de acordo com a ABNT (1984).

Os corpos de prova foram desmoldados entre 24 e 48 horas, e colocados em seguida em água saturada de cal, permanecendo ali até o dia designado para o ensaio, conforme ABNT (1984).

4.6 ENSAIOS DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO SIMPLES

Na determinação das resistências características aos 7, 28 e 60 dias, foram seguidas as orientações da *NBR 5739/ 80 - "Ensaio de Compressão de Corpos de prova Cilíndricos de Concreto"*, que especifica o método de ensaio de compressão para o concreto.

Para a regularização da superfície dos corpos de prova cilíndricos, foi realizado o capeamento com uma mistura à quente de enxofre e caulim.

Na fase inicial, todos os 12 CPs de cada faixa granulométrica (conforme Tabela 39) foram rompidos aos 7 dias.

Já na fase final, para cada traço (1:3 , 1:5 e 1:7), foram rompidos 16 corpos de prova aos 28 dias e 12 aos 60 dias, sendo $\frac{1}{4}$ para cada amostra de campo (A, B, C e D), além de 2 CPs para cada traço, confeccionados com agregados tradicionais, conforme mostra a Tabela 42.

TABELA 42 - Quantidade de corpos de prova rompidos na fase final

TRAÇO	IDADE DE RUPTURA	
	28 dias	60 dias
1:3 (entulho)	16*	12*
1:5 (entulho)	16*	12*
1:7 (entulho)	16*	12*
1:3 (de referência)	2	2
1:5 (de referência)	2	2
1:7 (de referência)	2	2
* $\frac{1}{4}$ para cada amostra (A, B, C e D)		

4.7 ENSAIOS DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO AO DESGASTE POR ABRASÃO

Para a realização dos ensaios do desgaste por abrasão foram seguidas as recomendações da *NBR 12.042 (MB 3379) - "Materiais Inorgânicos- Determinação do Desgaste por Abrasão"*, que prescreve o método necessário para a sua determinação.

O desgaste dos corpos de prova utilizados no ensaio é obtido através do atrito entre sua superfície de uso e a superfície de um anel de ferro fundido, que é continuamente abastecido com um material abrasivo (neste caso utilizou-se areia # 50), permanecendo num movimento de rotação até que sejam atingidos os 500 m de percurso (simulado) estabelecidos pela norma. Mede-se, então, a perda de espessura do corpo de prova, que é quem determina o desgaste por abrasão. Depois disso, repete-se o procedimento com um novo percurso de 500 m, obtendo-se assim o desgaste final.

4.8 ENSAIOS DA PERMEABILIDADE DO CONCRETO

Em complemento aos objetivos propostos nesta pesquisa, em relação à avaliação da resistência à compressão e à abrasão dos concretos produzidos, efetuou-se a medida da sua permeabilidade, que é uma medida potencial da durabilidade do concreto.

Os ensaios de permeabilidade do concreto foram realizados com o auxílio do Centro Tecnológico da empresa Holdercim, utilizando-se um aparelho denominado "Permeator", que mede a permeabilidade pela difusão ao ar. O método consiste na aplicação de vácuo dentro de uma célula previamente acoplada na superfície do concreto e na medição do grau em que a pressão no interior da célula aumenta, estando este aumento relacionado com a permeabilidade do material, através de um modelo físico desenvolvido para o cálculo do coeficiente de permeabilidade ao ar (kT) da superfície do concreto, e da profundidade teórica de penetração (profundidade teórica analisada, a partir da superfície do concreto).

5 RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

A apresentação deste capítulo está relacionada à explanação utilizada na metodologia (capítulo 4) e suas respectivas etapas.

5.1 COLETA DAS AMOSTRAS

A confiabilidade desta pesquisa estava ligada, em grande parte, à necessidade de se colher amostras representativas do entulho processado pela usina. Mesmo com todas as precauções tomadas (descritas na metodologia), as amostras apresentaram grande diferenças visuais em relação à cor e à qualidade dos materiais constituintes, o que resultou em coletas que forneceram resíduos com diferentes comportamentos como agregados. Isto para a pesquisa foi importante, uma vez que permitiu a avaliação de resíduos com diferentes constituições, gerados pela mesma usina.

Por outro lado, isto mostra que a grande heterogeneidade do entulho não necessariamente está presente dentro das caçambas que chegam à usina, o que pode formar em dados momentos ou dias (dependendo da produção) pilhas de materiais mais homogêneos que a média e, portanto, no pior dos casos, material de qualidade inferior à média (o que ocorreu por exemplo com a amostra C). Desta forma, é importante que se tenha um controle simples, mas efetivo, do material que chega e que é processado pela usina, de forma que se saiba aproximadamente a constituição do material que será utilizado.

Um dado importante observado nas coletas, foi a mistura de terra ao entulho que chega à usina, durante a operação da pá-carregadeira para misturar o resíduo, ou para levá-lo até o equipamento de moagem. Isto poderia ser facilmente

resolvido, construindo-se um contrapiso de concreto para o pátio de descarga e mistura do material.

5.2 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO RESÍDUO

Na análise qualitativa das amostras do entulho, que teve como objetivo determinar a natureza dos materiais constituintes desse resíduo, realizou-se a separação dos seguintes elementos:

Argamassa: toda parcela constituída por areia e um material aglutinante (cal ou cimento) sem a presença de agregado graúdo ou pedrisco;

Cerâmica: todo material cerâmico não polido, constituído basicamente por tijolos e telhas cerâmicas;

Cerâmica polida: parcela constituída pelos materiais cerâmicos com pelo menos uma das superfícies polidas, tais como, azulejos, ladrilhos, manilhas, pisos vitrificados, etc.;

Concreto: todo material composto pela união de areia, cimento e pedra, cuja identificação fosse possível;

Pedras: fragmento de rocha ainda sem uso, ou que fizera parte de um concreto podendo, portanto, possuir parcelas de argamassas, que não às uma a outra pedra;

Outros: materiais como, madeira, metais, plásticos, amianto, torrões de terra ou de cal, trapos, etc.

O ensaio, conforme mostra a Figura 4, revelou uma predominância das argamassas (37,4%), seguida pelo concreto (21,1%) e pelos materiais cerâmicos não polidos (20,8%).

A predominância da argamassa no entulho já havia sido detectada por PINTO (1986) que constatou que 64% do residuo de construção da cidade de São Carlos, interior de São Paulo (região vizinha de Ribeirão Preto) era constituída de argamassa, seguida de 29% de materiais cerâmicos .

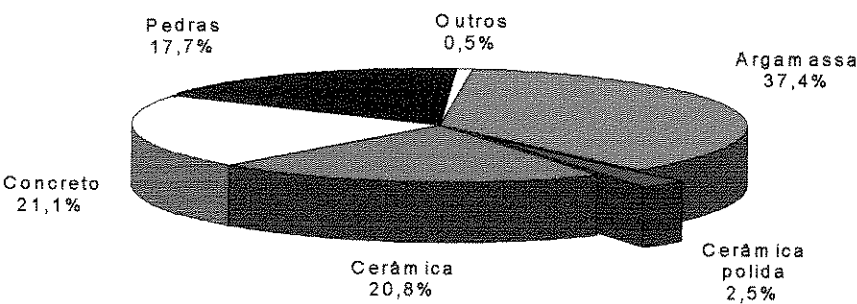


FIGURA 4 - Porcentagem média dos constituintes do entulho analisado na caracterização qualitativa

Analizando separadamente as amostras obtidas em cada uma das coletas realizadas, conforme pode ser visto na Tabela 43 e Figura 5, verificam-se diferenças significativas que podem até ter influído na resistência do concreto confeccionado com o entulho.

TABELA 43 - Porcentagem dos materiais presentes no entulho em cada amostra analisada

MATERIAL PRESENTE	AMOSTRAS				
	A (%)	B (%)	C (%)	D (%)	Média (%)
Argamassa	36,8	35,7	37,9	39,4	37,4
Cerâmica	14,6	25,9	23,8	18,9	20,8
Cerâmica polida	1,2	2,6	4,0	1,9	2,5
Concreto	19,8	21,6	21,5	21,7	21,1
Pedras	27,4	13,4	12,4	17,6	17,7
Outros	0,2	0,8	0,4	0,5	0,5
TOTAL	100,0	100,0	100	100	100

A diferença mais marcante em relação aos constituintes do entulho em cada amostra, está na quantidade de material cerâmico (não polido) e de pedras presentes em cada uma. As amostras A e D apresentaram as menores porcentagens de material cerâmico e as maiores quantidades de pedras, sendo que a amostra A, possui mais que o dobro da quantidade de pedras que as amostras B e C.

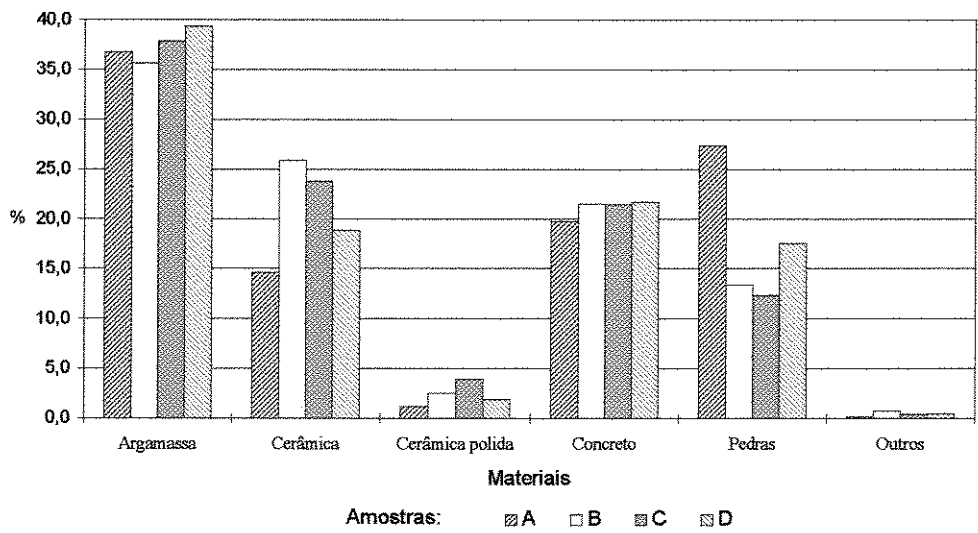


FIGURA 5 - Porcentagem dos materiais presentes no entulho em cada amostra analisada

Um dado surpreendente, foi o percentual de material cerâmico presente na amostra C. Inicialmente, devido à sua cor nitidamente mais avermelhada que as demais, supôs-se tratar de uma amostra composta por uma grande quantidade desse material, bem superior às demais. No entanto, embora essa quantidade seja maior que a encontrada na amostra D, e muito mais que na amostra A, ela é praticamente a mesma que a presente na amostra B.

Uma análise qualitativa da fração miúda do entulho, merece também uma atenção em trabalhos futuros, já que possivelmente é nessa parte dos resíduos que se encontra as causas da diferença de cor apresentada entre as amostras, fator esse que pode também ser responsável pela diferença das resistências encontradas. Possivelmente, este detalhe tenha sido causado por uma maior quantidade de terra presente na amostra C. Terra esta vinda de um canteiro de

obra, ou pela mistura como entulho na própria usina, durante a operação de mistura dos resíduos.

As presenças de argamassa e de concreto estiveram bem próximas em todas as amostras, e é bem provável que não tenham causado as diferenças entre os valores de resistência alcançados.

Os materiais cerâmicos polidos apresentaram nitidamente um grande problema para a resistência dos concretos confeccionados com o entulho. As faces polidas (esmaltadas, vitrificadas) destes materiais impediram que houvesse qualquer aderência entre eles e a matriz do concreto, propiciando assim, a existência neste local, de uma superfície de ruptura. Este fato foi verificado em vários corpos de prova rompidos (Foto 5), onde se visualizou a face lisa deste material, tangenciando a superfície rompida.

A maior ou menor presença do material cerâmico, polido ou não, pode também ter influenciado a resistência à compressão observada nos concretos confeccionados com o entulho, juntamente com a interferência causada pelo outros materiais. No entanto, uma análise mais apurada deve ser realizada para poder se afirmar com exatidão quais elementos são os responsáveis pela queda dos valores de resistências destes concretos. Vale ressaltar, contudo, que estas avaliações não estiveram presentes no escopo desta pesquisa.

5.3 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

De uma forma geral, esperava-se que o material processado apresentasse uma curva granulométrica bem distribuída, pelo fato dele provir de uma “bica corrida” (material que sai do britador primário), e, posteriormente, não passar por nenhum tipo de peneiramento, o que foi realmente comprovado na análise da sua granulometria.

5.3.1 Porcentagem Retida

As porcentagens retidas de entulho em cada peneira da série normal para as 4 amostras analisadas, apresentaram valores bem semelhantes, com uma variação máxima de 4,1 pontos percentuais, obtida na peneira 19 mm (amostras A e B), conforme mostra a Tabela 44.

Os valores percentuais retidos em todas as peneiras utilizadas no ensaio (peneiras da série normal e intermediária), bem como os valores em massa, estão apresentados nas Tabelas B1 a B8 do Anexo B.

TABELA 44 - Porcentagem do entulho retido nas peneiras da série normal

Peneiras (mm)	Amostra A (%)	Amostra B (%)	Amostra C (%)	Amostra D (%)
38	3,0	2,2	1,5	2,4
19	8,9	13,0	11,4	12,7
9,5	19,2	21,9	19,5	21,9
4,8	14,3	14,3	15,5	15,5
2,4	8,5	9,8	9,4	8,0
1,2	7,6	7,5	7,8	7,3
0,6	8,7	7,2	7,8	7,5
0,3	12,8	9,0	10,2	9,9
0,15	14,5	10,7	12,4	11,4
fundo	2,5	4,2	4,4	3,7

Segundo a ABNT (1987b), o somatório de todas as massas retidas em cada uma das peneiras, não deve diferir mais de 0,3% da massa seca da amostra inicialmente introduzida no conjunto de peneiras. No entanto esse limite não pôde ser atendido, talvez pela grande quantidade de finos presente no material analisado. Efetuaram-se 3 medições nas amostras A e B e a perda de massa esteve sempre acima destes valores. Como eles estiveram sempre semelhantes entre si, decidiu-se mantê-los superiores à exigência da norma, para todas as amostras. Os valores obtidos estão apresentados na Tabela 45.

TABELA 45 - Perda de massa das amostras na análise granulométrica (%)

	Amostras																
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	Média								
1ª Aferição*	2,6	2,8	2,1	2,5	1,5	0,8	2,1	1,5	2,0								
2ª Aferição**	2,2	2,1	2,0	1,6	1,2	1,6	1,1	1,2	1,6								
Média	2,4		2,1		1,3		1,5		1,8								
* Peneiramento integral do residuo																	
** Peneiramento da fração miúda (passa pela peneira 4,8 mm)																	

A Figura 6 permite uma visão clara da quantidade de material armazenado em cada peneira da série normal, para cada amostra. Pode-se notar que a grande parte do material graúdo possui granulometria entre 4,8 e 19 mm, e que a maioria do material miúdo ficou concentrado nas peneiras 0,15 e 0,3 mm.

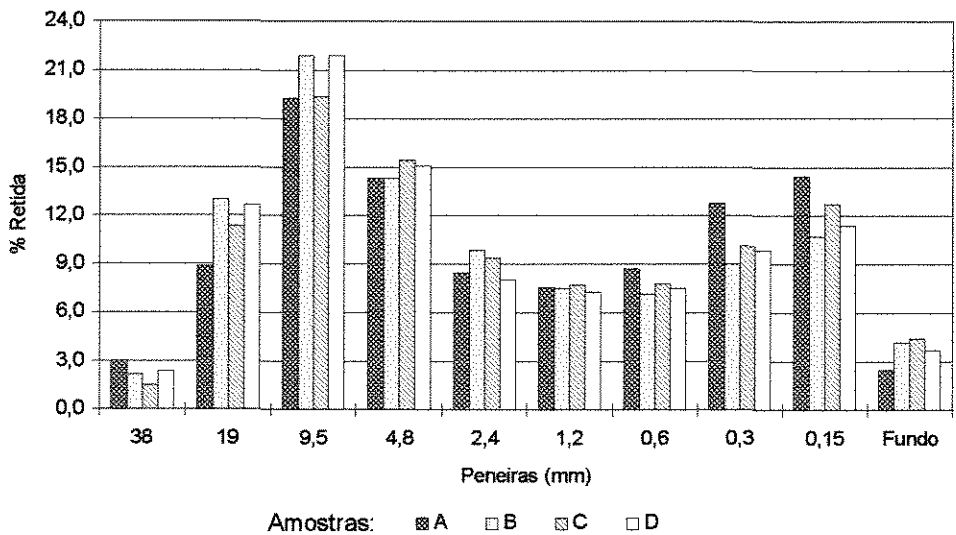


FIGURA 6 - Porcentagem do entulho retido nas peneiras da série normal

5.3.2 Porcentagem Retida Acumulada

A porcentagem retida acumulada nas peneiras da série normal e intermediária, apresentada na Tabela 46, fornece a grande maioria dos parâmetros para a classificação dos agregados, conforme prescrições da ABNT (1983).

TABELA 46 - Porcentagem acumulada do entulho retido nas peneiras da série normal e intermediária

Peneiras (mm)	Amostra A (%)	Amostra B (%)	Amostra C (%)	Amostra D (%)
50	0,6	0,4	0,0	0,8
38	3,0	2,2	1,5	2,4
32	5,2	4,1	3,7	5,0
25	7,4	8,1	6,5	8,7
19	11,9	15,2	12,9	15,1
12,5	25,8	32,3	27,2	31,9
9,5	31,1	37,1	32,2	37,0
6,3	40,9	46,4	41,9	47,0
4,8	45,5	51,5	47,7	52,1
2,4	53,9	61,3	57,1	60,2
1,2	61,5	68,8	64,8	67,4
0,6	70,2	76,0	72,6	75,0
0,3	83,0	85,1	82,8	84,9
0,15	97,5	95,8	95,6	96,3
fundo*	100,0	100,0	100,0	100,0
* Fundo colocado sob o conjunto de peneiras				

5.3.2.1 Dimensão Máxima Característica

Pode-se observar pela Tabela 46, que a dimensão máxima característica das amostras analisadas apresentaram dois valores distintos: 38 mm para a amostra A e 32 mm para as amostras B, C e D. Embora as porcentagens que definem esta grandeza (imediatamente inferior a 5%) estejam próximas em cada uma das amostras, a diferença provavelmente ocorreu porque na ocasião em que a primeira coleta foi realizada (amostra A), o ajuste no britador ainda não havia terminado.

5.3.2.2 Módulo De Finura

Analisando-se a porcentagem retida acumulada, pode-se retirar o valor do módulo de finura do agregado, que por sua facilidade de cálculo é muito utilizado

na dosagem experimental do concreto, principalmente quando se estudam agregados cujas curvas granulométricas apresentam analogias de forma, o que, como será apresentado a seguir, ocorreu neste estudo.

Os módulos de finura (*soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100*) encontrados para os agregados miúdos de cada uma das amostras foram:

- Amostra A: 2,55
- Amostra B: 2,67
- Amostra C: 2,57
- Amostra D: 2,57
- Média: 2,59

Os resultados ficaram bem próximos, com uma diferença entre os valores mínimo e máximo de 7,1%, o que evidenciando mais uma vez a similaridade na granulometria das amostras. Esta grande semelhança pode ser verificada também visualmente, nos valores das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, apresentados na Figura 7.

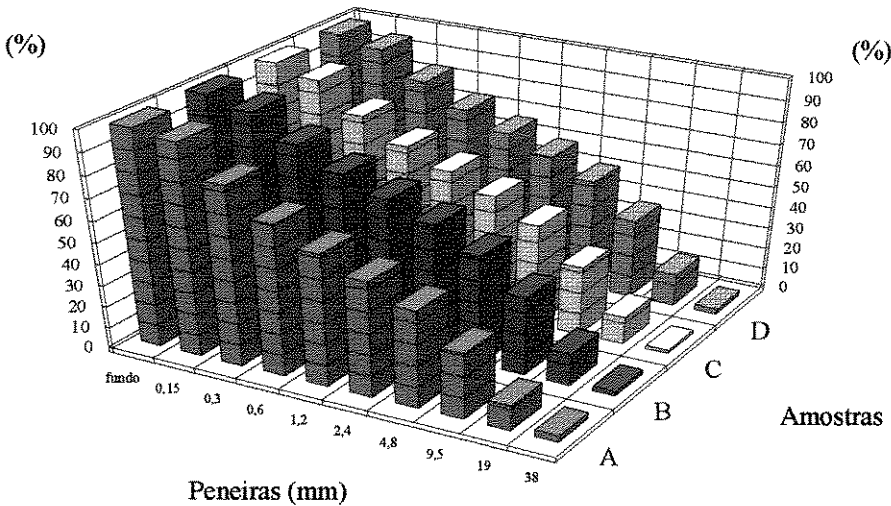


FIGURA 7 - Porcentagem acumulada do entulho retido nas peneiras da série normal

5.3.2.3 Curva Granulométrica

Conforme apresentadas na Figura 8, as curvas granulométricas das 4 diferentes amostras do entulho diferem muito pouco, como já era esperado, por se tratar de um material proveniente de “bica corrida”.

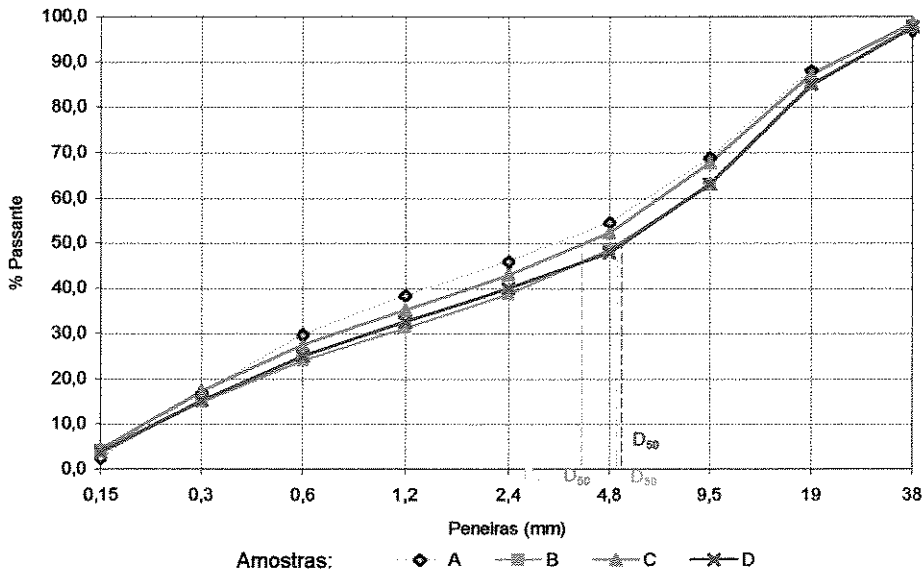


FIGURA 8 - Curvas granulométricas das amostras estudadas (% acumulada)

Efetuando-se a projeção no eixo das abscissas, do ponto onde cada curva intercepta a linha perpendicular ao valor de 50% (eixo das ordenadas), obtém-se o diâmetro que divide ao meio cada amostra, ou seja, metade do material possuirá dimensão maior que esse diâmetro (D_{50}). Pode-se concluir deste fato, que a amostra A é a que possui maior finura e, as amostras B e D as menores finuras, ficando assim, na seguinte ordem decrescente: A, C, B/ D.

O fato mais expressivo porém, pode ser analisado observando-se que as projeções destes pontos (locais geométricos que correspondem à 50% de material) estão próximas de 4,8 mm, significando que cada uma das amostras é constituída por aproximadamente metade de material graúdo e metade de miúdo.

Isto pode ser melhor visualizado na Tabela 47, que apresenta esta proporção de forma numérica, obtida durante o peneiramento do material.

Visualizando-se o resíduo separadamente, conforme apresenta a Tabela 47, pode-se realizar uma classificação do entulho, determinando em que tipo de agregado miúdo e graúdo ele se enquadra, segundo a ABNT (1983).

TABELA 47 - Porcentagem acumulada do entulho retido nas peneiras da série normal e intermediária

Amostra	Material Graúdo (%)	Material Miúdo (%)
A	46,3	53,7
B	52,1	47,9
C	48,1	51,9
D	52,7	47,3
Média	49,8	50,2

5.3.2.4 Agregado Miúdo

Na Tabela 48 apresenta-se a classificação do entulho de acordo com os limites granulométricos para o agregado miúdo, estabelecidos pela ABNT (1983), tomando-se como porcentagem retida acumulada os valores da Tabela 46 (página 94).

TABELA 48 - Classificação do entulho de acordo com os limites estabelecidos pela NBR 7211

Peneiras (mm)	Amostra A (zonas)	Amostra B (zonas)	Amostra C (zonas)	Amostra D (zonas)
2,4	3 ou 4	3 ou 4	3 ou 4	3 ou 4
1,2	3	3 ou 4	3 ou 4	3 ou 4
0,6	3	3	3	3
0,3	2 ou 3	2 ou 3	2 ou 3	2 ou 3
0,15	1, 2, 3 ou 4	1, 2, 3 ou 4	1, 2, 3 ou 4	1, 2, 3 ou 4

Verifica-se, que todas as amostras estão dentro dos limites da Zona 3, em todas as peneiras, classificando assim a parte miúda do entulho, objeto deste estudo, como uma areia média, conforme a Tabela 49.

TABELA 49 - Representação granulométrica das zonas segundo ABNT (1983).

Zonas	Granulometria da areia
1	muito fina
2	fina
3	média
4	grossa

Fonte: ABNT, 1983.

5.3.2.5 Agregado Graúdo

De acordo com os valores da porcentagem retida acumulada apresentados na Tabela 46 (página 94), a fração graúda deste entulho não se enquadra em nenhuma das classificações da NBR 7211/ 83, que qualifica as britas em diferentes graduações: 0, 1, 2, 3, 4 e 5.

Esta granulometria contínua se justifica, pelo processo de obtenção do material, ou seja, a “bica corrida”, que somente fornece uma agregado graduado pela NBR 7211/ 83, quando existe um processo de peneiramento posterior à moagem, que separa o material nas dimensões desejadas.

Esta grande diversidade granulométrica, porém, pode representar um bom desempenho do resíduo como agregado no concreto, uma vez que a presença de diferentes diâmetros permite um melhor rearranjo entre as partículas do agregado e suas superfícies de contato.

5.4 MASSA ESPECÍFICA APARENTE

Os valores obtidos nos ensaios para a determinação da massa específica aparente (ou unitária) do entulho, de acordo com a ABNT (1982b), estão apresentados na Tabela 50.

TABELA 50 - Massa específica das amostras do entulho analisado

Amostra	Massa específica (kg/ dm ³)		
	Graúdo	Miúdo	Integral
A	1,09	1,40	1,40
B	1,00	1,37	1,36
C	1,12	1,43	1,38
D	1,16	1,44	1,40
Média	1,09	1,41	1,39

A massa unitária dos materiais depende do grau de adensamento e da compacidade do material, ou seja, da quantidade de vazios existentes entre suas partículas. Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994), a massa unitária aproximada dos agregados comumente utilizados em concreto normal varia de 1,30 a 1,75 kg/dm³.

Estudos de SILVA, SOUZA e SILVA (1996), mostraram que a massa específica média do entulho por eles analisados, era da ordem de 2,52 kg/ dm³, e portanto, acima do valor 1,39 mostrado na Tabela 50. No entanto, a faixa granulométrica do material estudado pelos autores, limitou-se ao diâmetro de 9,5 mm, enquanto que nesta pesquisa, trabalhou-se com resíduos de até 38 mm.

No entanto, mais importante que a comparação, é o fato de que no Brasil, ainda é comum a dosagem de concretos em volume, nos canteiros de obra, o que torna a massa específica aparente dos agregados uma informação indispensável, para o cálculo dos traços em volume.

5.5 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para a confecção dos corpos de prova durante a fase inicial da pesquisa, não foi preestabelecido nenhum valor de consistência para o concreto no seu estado fresco. A quantidade de água de amassamento foi definida como a mínima necessária para se obter uma trabalhabilidade satisfatória, visto que, já se sabia, da revisão bibliográfica, que o uso do entulho no concreto demandaria uma grande

quantidade de água de amassamento (devido à sua alta absorção), o que comprometeria a resistência destes concretos.

Dessa forma, os valores obtidos no ensaio de abatimento do tronco de cone (consistência) para os concretos desta fase (Tabela 51) são bem variados, não obedecendo nenhum intervalo imposto previamente. Nota-se, por exemplo, que nas amostras B e D, a exclusão da fração granulométrica mais fina (faixa E₂) proporcionou uma trabalhabilidade satisfatória mesmo com uma grande consistência (pequeno abatimento). Isto pode ter sido ocasionado pela maior necessidade de água quando se utiliza a parcela mais fina, que acaba diminuindo a consistência do concreto.

TABELA 51 - Resultados da consistência e da relação a/c, para os concretos produzidos na fase inicial

	AMOSTRAS UTILIZADAS							
	A - E ₁	A - E ₂	B - E ₁	B - E ₂	C - E ₁	C - E ₂	D - E ₁	D - E ₂
Abatimento (cm)	3,4	3,2	2,8	1,1	3,5	2,8	3,7	0,6
a/c	0,87	0,80	0,94	0,89	0,89	0,91	0,88	0,87
Traço utilizado: 1:5 (cimento : entulho / cimento : areia+brita) E ₁ : faixa granulométrica] 38 mm ; 0,15 mm] E ₂ : faixa granulométrica] 38 mm ; 0,30 mm]								

Após terem sido obtidos os resultados da resistência à compressão aos sete dias (fase inicial), definiu-se, para a fase final, uma faixa para a consistência do concreto fresco que pudesse compreender os valores obtidos em cada amostra na etapa inicial. A consistência definida foi 3 ± 1 cm. A Foto 6 (Anexo A), mostra a aparência do concreto fresco pouco antes da moldagem dos corpos de prova.

Conforme mostra a Tabela 52, a relação a/c manteve, para todas as amostras, um crescimento coerente na medida em que o traço foi enfraquecido (diminuída a quantidade de cimento).

TABELA 52 - Resultados da consistência e da relação a/c, para os concretos produzidos na fase final

AMOSTRA UTILIZADA	TRAÇO UTILIZADO*	CONSISTÊNCIA (cm)	RELAÇÃO A/C
A	1:3	3,5	0,51
	1:5	2,5	0,71
	1:7	2,6	0,95
B	1:3	3,8	0,55
	1:5	2,8	0,79
	1:7	2,4	1,09
C	1:3	2,3	0,63
	1:5	3,0	0,82
	1:7	2,1	1,04
D	1:3	3,0	0,64
	1:5	2,5	0,82
	1:7	2,8	1,02
R**	1:3	4,8	0,32
	1:5	5,2	0,56
	1:7	3,5	0,77
* Cimento : entulho ou cimento : areia+brita ** Concreto de referência (agregados convencionais: areia e brita)			

Observa-se que os valores da relação a/c utilizados são bem maiores que os comumente empregados na confecção do concreto de referência. Tal fato decorre da grande capacidade de absorção do agregado utilizado (o entulho), principalmente pela fração constituída por materiais cerâmicos. No entanto, é importante ressaltar, que somente parte da água representada pela relação a/c será disponível para as reações de hidratação do cimento, pelo menos nas primeiras idades, pois parte dela ficará temporariamente retida nos poros do agregado.

Já o comportamento da consistência do concreto em relação ao consumo de cimento (traços utilizados) não obedeceu nenhuma regra que estivesse presente simultaneamente para as 4 amostras, conforme mostra a Figura 9.

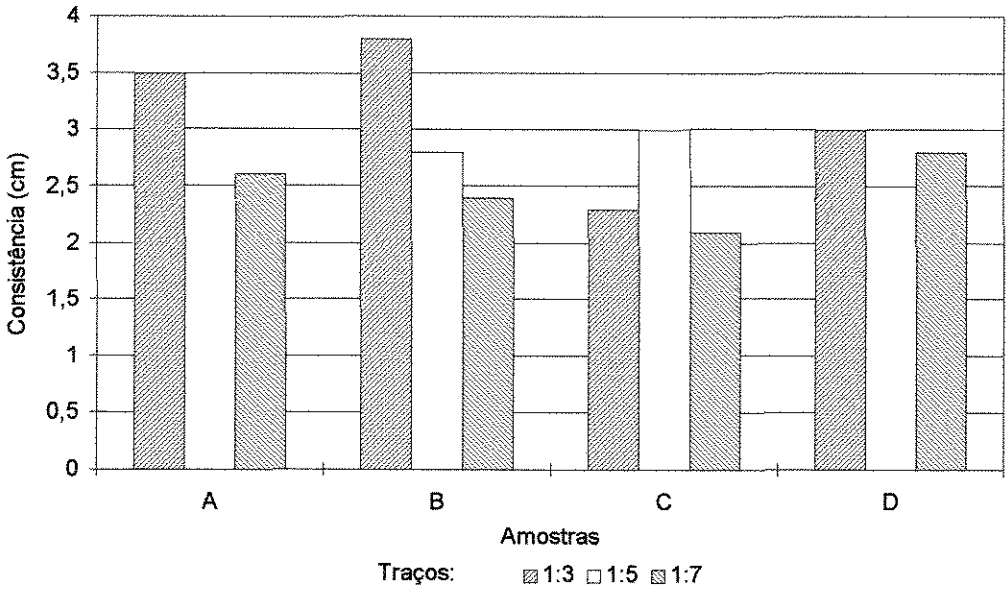


FIGURA 9 - Comportamento da consistência, com o aumento do consumo de cimento

O concreto produzido para a confecção dos corpos de prova destinados à análise da sua resistência ao desgaste à abrasão, foi amassado manualmente por tratar-se de pouca quantidade, devido ao tamanho reduzido dos CPs utilizados neste ensaio. Dessa forma, as relações a/c utilizadas, estão apresentadas na Tabela 53.

TABELA 53 - Resultados da relação a/c, para os concretos produzidos na fase final - Abrasão (traço 1:5)

AMOSTRA UTILIZADA	RELAÇÃO A/C
A	0,8
B	0,9
C	0,9
D	0,8
R*	0,7
Traço utilizado 1:5 (cimento : entulho / cimento : areia+brita)	
* Concreto de referência (areia e brita)	

Embora na confecção dos CPs destinados ao ensaio de abrasão tenha-se tentado usar para cada amostra, a mesma quantidade de água do traço 1:5

mostrada na Tabela 52, houve a necessidade de aumentar esse parâmetro. Isto pode ser explicável talvez, pela alta temperatura do dia em que se realizou a concretagem, e por diferenças entre os métodos de amassamento (mecânico x manual).

A consistência dos concretos convencionais utilizados como parâmetros de comparação, que foi delimitada entre 5 ± 1 cm, não pode ser atendida para o traço 1:7 (amostra R), onde se obteve o valor de 3,5 cm. Decidiu-se manter esse valor porque a adição de mais água à mistura estava ocasionando o escoamento da argamassa por entre o agregado graúdo, fato explicável, possivelmente, pela pouca viscosidade da argamassa (causada pela reduzida quantidade de cimento utilizada neste traço). Como o agregado graúdo neste concreto foi a brita (#1), seu ângulo de atrito interno entre as partículas, maior que o do entulho, permitiu que a consistência ficasse baixa, mesmo com a adição de mais água.

5.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO SIMPLES

Os resultados da resistência à compressão simples dos concretos confeccionados com o entulho, e dos concretos tradicionais utilizados como base de comparação, estão apresentados de acordo com a fase em que foram ensaiados. Os resultados foram apresentados de forma gráfica, para que se pudesse obter melhor compreensão dos mesmos. Todavia, os valores numéricos estão presentes no Anexo B deste volume.

5.6.1 Fase Inicial

Os primeiros corpos de prova utilizados nos ensaios de resistência à compressão, foram rompidos aos 7 dias (fase inicial). Como pode ser visto na Figura 10 (Tabela B14 - Anexo B), já nestas primeiras idades uma sutil superioridade dos concretos confeccionados com as amostras A e D esteve presente. Note-se também, uma nítida fragilidade na resistência à compressão do

concreto, quando se utilizou como agregado a amostra C com a faixa granulométrica E₂.

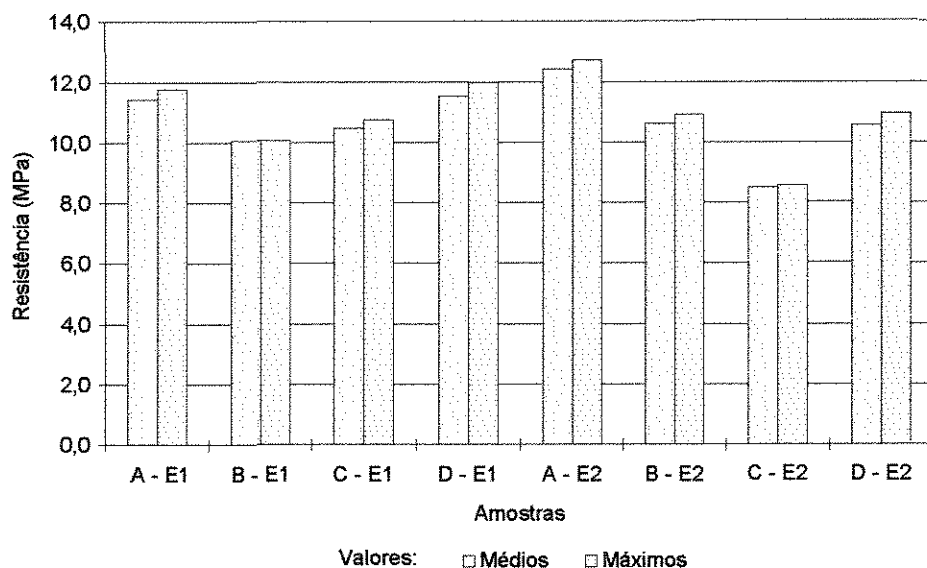


FIGURA 10 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 7 dias

Como os resultados obtidos foram satisfatórios, ou seja, estiveram dentro dos valores esperados para esta idade, deu-se prosseguimento à pesquisa, nas proposições estabelecidas na metodologia.

5.6.2 Fase Final

Nesta etapa do trabalho foram realizados testes de resistência à compressão aos 28 e 60 dias.

5.6.2.1 Resistência aos 28 dias

Os valores destes primeiros ensaios, são mostrados na Figura 11, e apresentados nas Tabelas B15, B16 e B17 (Anexo B), que caracterizam os traços 1:3, 1:5 e 1:7, respectivamente.

Analisando inicialmente entre si, apenas os concretos onde se utilizou as amostras de entulho como agregado, pode-se ver que à medida que o consumo de cimento aumenta, também ficam maiores as diferenças das resistências obtidas entre as amostras. Há por exemplo, uma nítida superioridade dos valores obtidos pela amostra A, que chega a estar entre 6 a 28% acima dos valores obtidos pelas amostras B e D, que apresentaram resistências praticamente iguais, situando-se próximas a um patamar médio, e que por sua vez, atingiram resultados de 6 a 13% superiores aos apresentados pela amostra C, cuja resistência esteve em todos os traços, inferior às obtidas pelas demais.

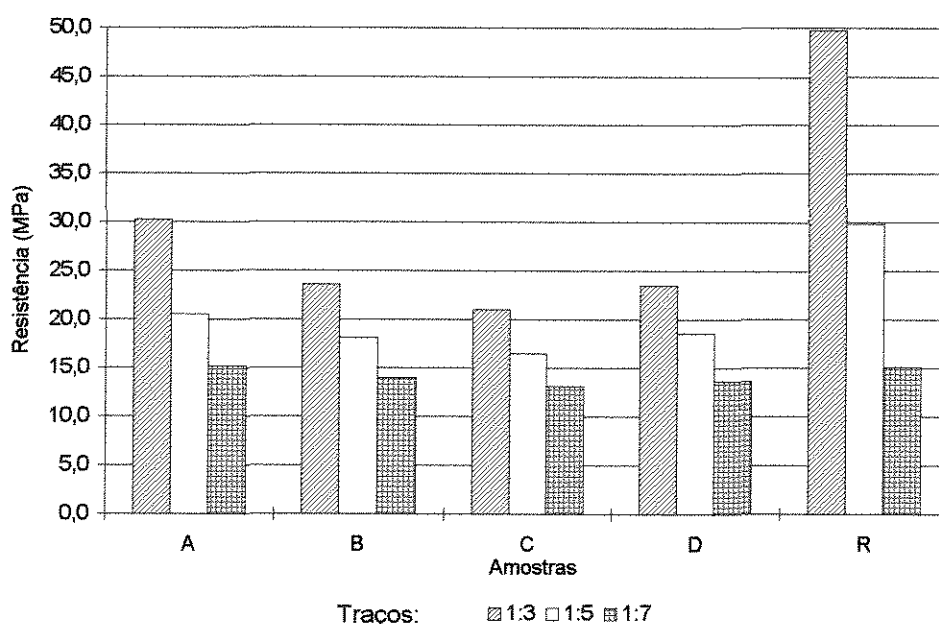


FIGURA 11 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão aos 28 dias Valores médios

Focalizando-se os resultados obtidos, tendo em vista uma comparação entre os concretos confeccionados com entulho e o concreto de referência (R), pode-se notar que, inicialmente com um traço mais forte (1:3), as resistências obtidas naqueles, se distanciaram bastante das alcançadas no concreto de referência. Contudo, à medida em que se diminuiu o consumo do cimento, as diferenças foram se reduzindo, tornando-se praticamente insignificantes, no traço 1:7.

As Tabelas 54 e 55 mostram com bastante clareza este comportamento, estabelecendo a porcentagem atingida pela resistência de cada amostra, em relação àquela atingida pelo concreto de referência.

**TABELA 54 - Resistência à compressão do concreto aos 28 dias
Análise comparativa - Resistências médias**

TRAÇOS	AMOSTRAS UTILIZADAS					
	A	B	C	D	Média	R*
1:3	61%	47%	42%	47%	49%	100%
1:5	69%	61%	55%	62%	62%	100%
1:7	100%	93%	87%	90%	93%	100%
* Concreto de referência (areia e brita)						

Quando se analisa os valores máximos de resistência atingidos pelos concretos, as diferenças se tornam ainda menores, chegando o traço mais pobre da amostra A, até mesmo a superar a resistência obtida no concreto confeccionado com agregados convencionais.

**TABELA 55 - Resistência à compressão do concreto aos 28 dias
Análise comparativa - Resistências máximas**

TRAÇOS	AMOSTRAS UTILIZADAS					
	A	B	C	D	Média	R*
1:3	64%	48%	43%	48%	51%	100%
1:5	72%	61%	56%	68%	64%	100%
1:7	102%	93%	89%	98%	95%	100%
* Concreto de referência (usou-se agregados convencionais: areia e brita)						

O procedimento normatizado seria considerar os valores máximos como as resistências à serem adotadas. No entanto, por tratar-se de uma material extremamente heterogêneo, e pelo fato da norma ter sido redigida tendo-se em vista o uso de agregados convencionais, serão considerados os valores médios, como os resultados finais, até mesmo por uma questão de segurança.

5.6.2.2 Resistência aos 34 dias (corpos de prova para testes de abrasão)

Para o ensaio de resistência ao desgaste por abrasão, os corpos de prova tiveram dimensões diferentes das utilizadas para todos os outros ensaios, como explicado na metodologia. Dessa forma, efetuaram-se testes de resistência à compressão em CPs com as mesmas dimensões de base (7,5 x 7,5 cm) usadas no ensaio de abrasão, apenas para a verificação de possíveis diferenças de resistências relativas, devido à mudança na granulometria dos agregados utilizados. Os valores obtidos estão apresentados na Figura 12.

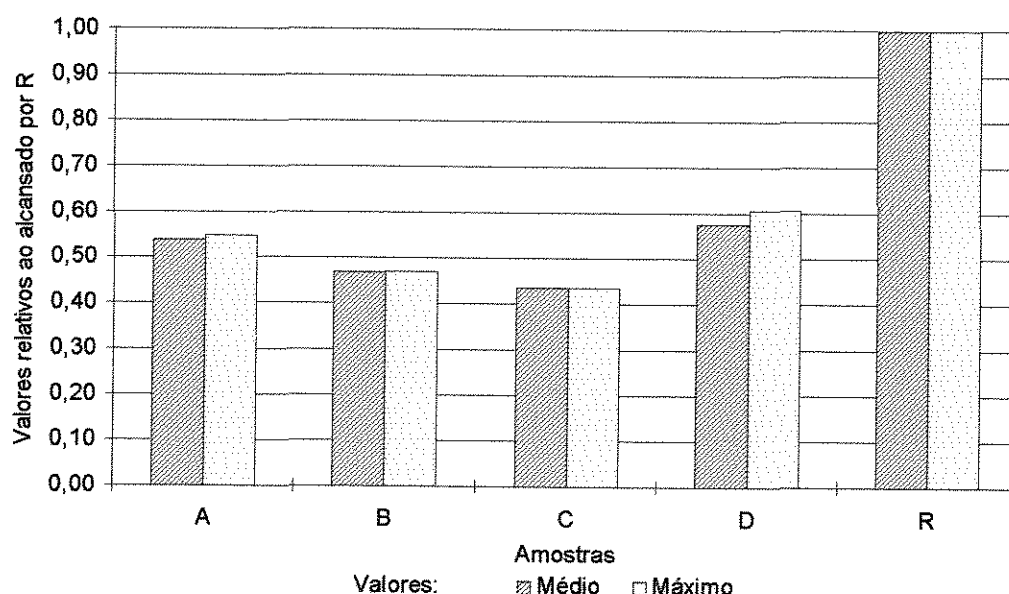


FIGURA 12 - Resistência à compressão aos 34 dias para os CPs utilizados no ensaio de abrasão - Valores relativos

Observa-se nesta figura, que todas as amostras apresentaram uma queda na resistência relativa de seus respectivos concretos, que pode estar associado tanto ao aumento da relação a/c utilizada na confecção destes corpos de prova menores, quanto à diminuição da granulometria utilizada, limitada pelas dimensões dos CPs.

No entanto, existe ainda uma analogia no comportamento apresentado nas Figuras 11 e 12, indicando que a qualidade proporcionada aos concretos, por cada

amostra, continuou semelhante nestes corpos de prova, com um sensível aumento de resistência quando se utilizou a amostra D. Isto provavelmente ocorreu, porque como mostra a Tabela 53, esta foi a única amostra que possibilitou o uso de uma relação a/c inferior que às utilizadas nos CPs maiores (15 x 30 cm), acarretando assim maior resistência neste concreto.

5.6.2.3 Resistência aos 60 dias

A Figura 13 apresenta a evolução da resistência à compressão simples do concreto, em relação aos valores obtidos aos 28 e 60 dias. Ela mostra que os resultados obtidos aos 60 dias (Tabelas B19, B20 e B21, Anexo B) mantiveram entre si, uma relação bem semelhante àquela apresentada aos 28 dias, tendo cada amostra, apresentado um crescimento na resistência entre 5% e 16% para os concretos confeccionados com o entulho e 16% a 22% para o concreto de referência.

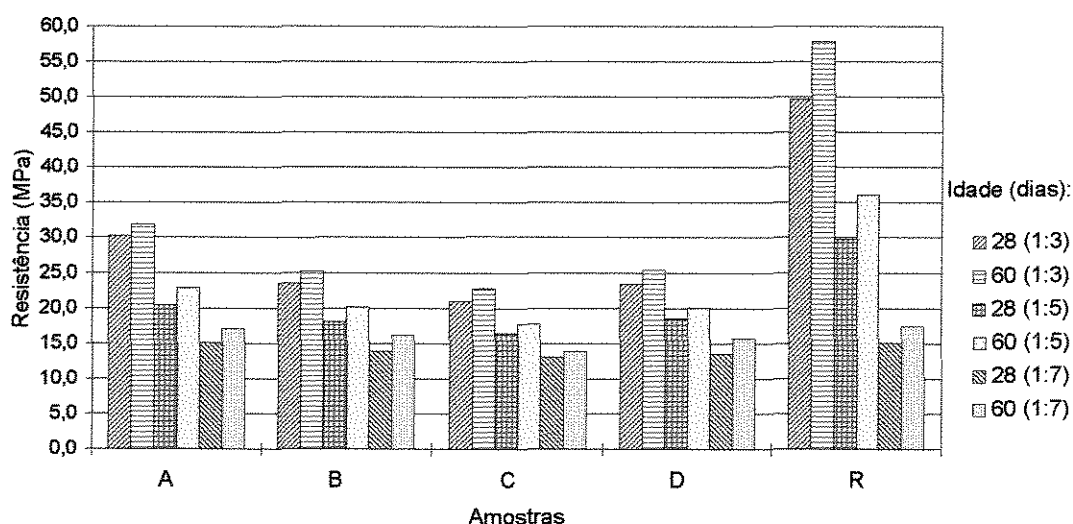


FIGURA 13 - Evolução da resistência à compressão do concreto aos 28 e 60 dias.

Um fato que pode ser observado é que o aumento de resistência em relação aos valores de 28 dias, foi mais significativo no traço 1:7 que nos traços mais fortes (1:3 e 1:5). Além disso, nos traços mais pobres (menor consumo de cimento), novamente os valores de resistência obtidos pelo concreto com entulho se aproximaram mais dos apresentados pelo concreto tradicional. Isto pode ter ocorrido pelos seguintes fatos:

- quanto mais forte for o traço utilizado, a pasta de cimento fica mais rica e a parte mais frágil do concreto neste caso, é o agregado (ou a zona de transição).
- o cimento presente no entulho possui ainda, provavelmente, uma boa capacidade cimentícia, colaborando desse modo, para o aumento da resistência do concreto quanto mais fraco for o traço utilizado;
- a possível atividade pozolânica realizada pelos finos do entulho pode também melhorar a resistência do concreto.

5.7 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONCRETO AO DESGASTE POR ABRASÃO

As resistências dos concretos ao desgaste por abrasão obtidos nestes ensaios, demonstraram uma superioridade daqueles onde se utilizou o entulho como agregado, conforme apresenta a Figura 14. O parâmetro utilizado para medir esta resistência é o desgaste sofrido pelo corpo de prova aos 1.000 metros de percurso, e que ficou em média, 26,5% menor que o medido no concreto de referência.

Vale ainda ressaltar, que um dos CPs utilizados da amostra A, atingiu um valor de desgaste muito alto, bem acima da média (por um motivo desconhecido), e que se não for considerado, ainda aumenta a diferença entre os concretos feitos com entulho e o de referência.

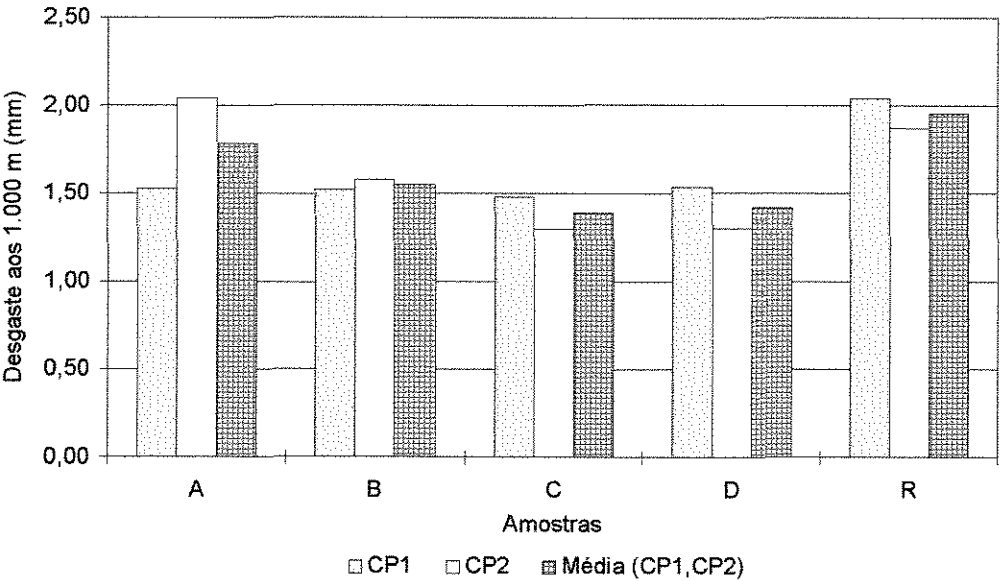


FIGURA 14 - Valores observados no ensaio de desgaste à abrasão

Segundo a *NBR 9457 - “Ladrilho Hidráulico”*, utilizada como parâmetro para avaliar este ensaio com pisos de concreto, o desgaste aos 1.000 m deve ser inferior a 3 mm. Dessa forma, de acordo com a Tabela 56, pode-se concluir que, os concretos confeccionados com as diferentes amostras de entulho, foram aprovados no ensaio de resistência ao desgaste por abrasão.

**TABELA 56 - Desgaste observado no ensaio de resistência à abrasão
Traço 1:5**

Amostra	Corpo de prova	Desgaste			
		Aos 500 m (mm)	Médio (mm)	Aos 1000 m (mm)	Médio (mm)
A	1	0,98	1,08	1,53	1,79
	2	1,17		2,04	
B	1	1,04	1,00	1,52	1,60
	2	0,95		1,58	
C	1	1,00	0,81	1,48	1,39
	2	0,62		1,30	
D	1	0,88	0,83	1,54	1,42
	2	0,78		1,30	
R	1	1,21	1,18	2,04	1,96
	2	1,15		1,87	

5.8 DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DO CONCRETO

Os valores obtidos do coeficiente k_T e da profundidade teórica de penetração estão apresentados na Tabelas 57 (Figura 15) e Tabela B22 (Anexo B), respectivamente.

TABELA 57 - Valores dos coeficientes de permeabilidade k_T obtidos (10-16 m²)

Corpos de Prova	Amostras				
	A	B	C	D	R
CP1	0,148	0,290	0,022	0,014	0,174
CP2	0,125	1,105	0,067	0,243	0,066
Média	0,137	0,698	0,045	0,129	0,120

Pode-se notar os valores da permeabilidade estão bastante semelhantes aos obtidos pelo concreto de referência - R (areia e brita) - e que apenas a Amostra B apresentou disparidade num de seus valores, o que pode significar problemas com o corpo de prova e não propriamente com o concreto em si. A amostra C, apresentou valores bem inferiores em relação aos demais, reforçando dessa forma os resultados de Holdercim⁶ (constatou-se que um decréscimo na resistência à compressão do concreto, não significa necessariamente um aumento na sua permeabilidade) já que esta amostra apresentou os menores valores de resistência à compressão do concreto.

A Figura 15 mostra com clareza o valor extrapolado de um dos corpos de prova da Amostra B, e também a grande diferença obtida nos CPs da Amostra D que chega quase a 2.000%, embora seu valor mais alto ainda seja bem inferior ao obtido pelo corpo de prova 2 da Amostra B.

Para efeito de classificação, a Tabela 58 fornece os valores que são utilizados na determinação da qualidade da superfície do concreto.

⁶ Resultados de testes realizados pela empresa Holdercim

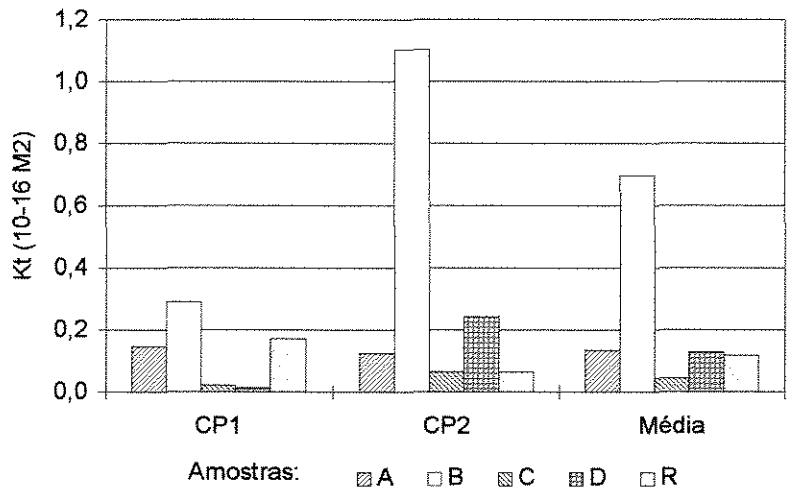


FIGURA 15 - Valores médios dos coeficientes de permeabilidade kT

Considerando esta classificação, as amostras produziram concretos com as seguintes qualidades em suas superfícies:

- Amostra B: média (considerando-se a extrapolação de um valor);
- Amostras A, D e T: boa; e
- Amostra C: muito boa.

TABELA 58 - Classificação da qualidade da superfície do concreto

Índice	Classificação	Permeabilidade ao ar “kT” (10 ⁻¹⁶ m ²)
0	muito pobre	> 10
1	pobre	2,5 a 10
2	médio	0,5 a 2,5
3	bom	0,1 a 0,5
4	muito bom	0,025 a 0,1
5	excelente	< 0,025

Fonte: Holdercim - Centro Tecnológico, 1996

5.8 CURVA DE ABRAMS

A partir dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão dos concretos confeccionados com o entulho e com as respectivas relações a/c utilizadas em cada traço, pôde-se obter a curva relacionando estes dois fatores, conhecida como Curva de Abrams (Figura 16).

É de grande importância que a curva de Abrams tenha apresentado o mesmo formato das curvas obtidas com o concreto de referência, já que dessa maneira, ela pode ser utilizada para o estudo de dosagens de concreto confeccionados adotando-se o entulho, como agregado.

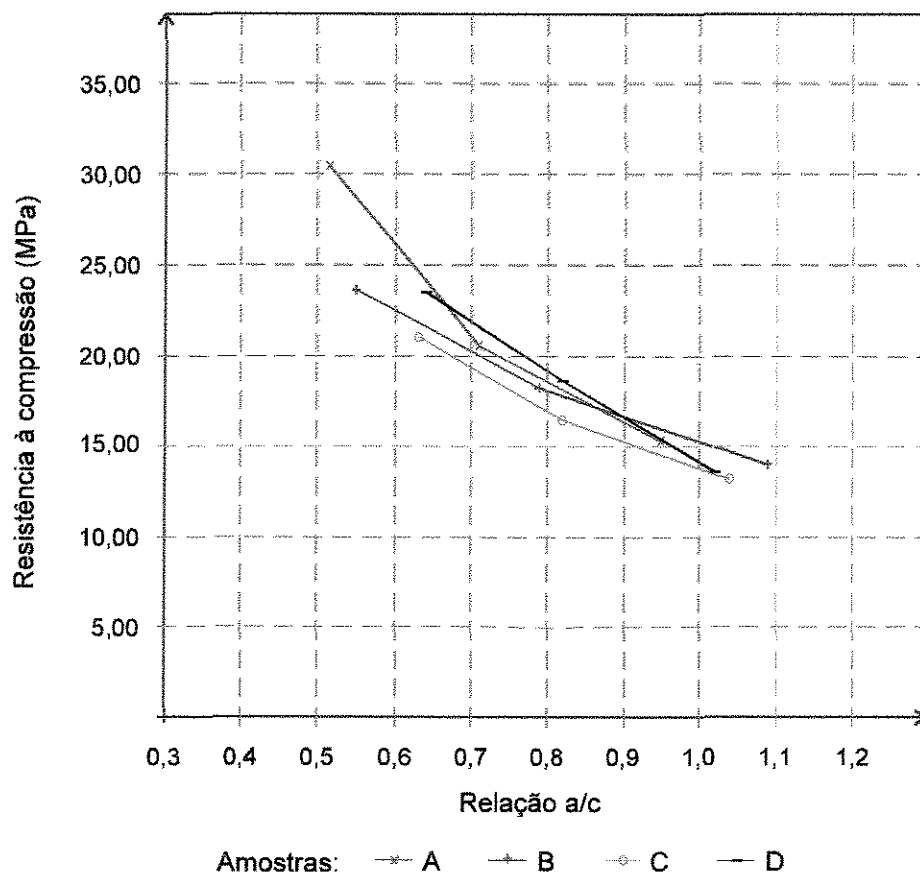


FIGURA 16 - Curva de Abrams

6 CONCLUSÕES

Os resultados dos experimentos realizados com o concreto confeccionado a partir da fração mineral do entulho, permitiram concluir que:

- Do comportamento do resíduo como agregado:
 - a parte graúda do entulho utilizado como agregado, revelou aspectos negativos para a resistência do concreto, relacionados à presença de materiais cerâmicos polidos, que induziram à ocorrência de superfícies de ruptura nas suas faces lisas, devido à insuficiente aderência entre essas faces e a pasta de cimento;
 - o entulho usado como agregado apresentou uma absorção de água bem superior à do agregado tradicional, devido tanto à sua grande porosidade como a maior quantidade de finos existentes neste resíduo;
 - possivelmente pelas suas arestas mais arredondadas e por uma certa quantidade de terra presente na parcela miúda, o entulho possibilitou uma trabalhabilidade superior à oferecida pelos agregados tradicionais (areia e brita), para uma mesma relação a/c;
 - o agregado miúdo de entulho, provocou a alteração da coloração do concreto produzido, substituindo o cinza esverdeado característico do cimento por uma tonalidade mais próxima à cor terra;

- A resistência à compressão simples, aos 28 dias, obtida pelos concretos produzidos a partir da fração mineral do entulho reciclado, representou em média, 49%, 62% e 93% da resistência do concreto de referência, utilizando-se os traços 1:3, 1:5 e 1:7, respectivamente;
- O aumento de resistência do concreto ocorrido dos 28 aos 60, foi mais significativo no traço 1:7 que nos traços mais fortes (1:3 e 1:5). Além disso, nos traços mais pobres (menor consumo de cimento), os valores de resistência obtidos pelo concreto com entulho se aproximaram mais dos apresentados pelo concreto de referência (tanto aos 28, como aos 60 dias). Isto pode ter ocorrido porque quanto mais forte o traço utilizado, mais rica será a pasta de cimento, o que contribui, neste caso, para que o agregado (ou a zona de transição) seja a parte mais frágil do concreto;
- A resistência ao desgaste à abrasão apresentada pelo concreto objeto deste estudo, ficou em média 26,5% maior que a obtida pelo concreto de referência, que utilizou areia e brita como agregado;
- Os resultados dos ensaios de compressão, abrasão e permeabilidade, realizados com o concreto confeccionado com entulho, permitem concluir que este tipo de concreto atende perfeitamente (quanto aos quesitos avaliados) as exigências de fabricação de:
 - peças de concreto utilizadas em drenagem superficial de estradas, como por exemplo sarjetas, que de acordo com MICHELIN (1975) necessita de uma resistência de 11 MPa aos 28 dias⁷;
 - elementos utilizados na construção de passeios públicos como guias⁸ e blocos para calçamento (a NBR 9781 - "*Peças de concreto para pavimentação*", não especifica a resistência necessária para pavimentos onde não haja trânsito de veículos, no entanto, as empresas que

⁷ Não há norma brasileira que especifique a resistência para sarjetas.

⁸ Embora não exista norma brasileira especificando a resistência à compressão para este elemento, o Departamento de Pavimentação e Vias Públicas da Prefeitura do Município de São Paulo, exige uma resistência mínima de 22,1 MPa (TÉCHNE, 1996).

comercializam blocos com essa finalidade obedecem uma resistência de 15 MPa aos 28 dias);

- blocos de concreto para alvenaria sem função estrutural, que segundo a NBR 7173 - "*Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural*", necessita de uma resistência à compressão mínima de 2,5 MPa (média amostral) e 2,0 MPa (individual).
- Foi de grande importância a obtenção da Curva de Abrams para o concreto produzido a partir do entulho reciclado, uma vez que, ela pode ser de extrema utilidade para os estudos de dosagens desse concreto;
- Embora tratando-se de um material extremamente heterogêneo - proveniente das mais diversas atividades da construção civil - e, portanto, apresentando na sua composição, elementos que não têm um bom comportamento como agregado para o concreto (por exemplo, os materiais cerâmicos polidos, e a própria terra), as qualidades mecânicas do concreto, aferidas nesta pesquisa, apresentaram valores muito positivos. Dessa forma, supõem-se que, se houver um controle do entulho que chega nas usinas, de forma que os materiais de qualidades diferentes não sejam misturados antes de irem para os britadores, obter-se-á um agregado com características superiores às oferecidas pelo resíduo analisado;

Além de atestar todos esses fatores, a pesquisa contribuiu também indiretamente, com avanços relacionados ao meio ambiente e às causas sociais, da seguinte forma:

- Comprovando a possibilidade de uso do entulho como agregado na confecção de concreto não estrutural, abrem-se mercados para a utilização do material beneficiado pelas usinas de reciclagem de entulho, o que permite que se aumente a produção das mesmas e, conseqüentemente, diminuam os depósitos clandestinos de resíduos de construção civil, que degradam o meio ambiente;

- Obtidas as características positivas do concreto analisado, permite-se que um material alternativo (o entulho) possa ser utilizado para a confecção de elementos construtivos empregados na criação e manutenção da infra-estrutura urbana (guias, sarjetas, blocos para calçamento, etc.), de uma forma mais econômica, o que acaba aumentando o número dessas benfeitorias e contribuindo para melhorar a qualidade de vida da sociedade.

Como sugestões para trabalhos futuros, podem ser citadas:

- Analisar a relação existente entre os materiais que compõem o entulho (miúdos e graúdos) e as resistências obtidas nos concretos confeccionados com estes materiais;
- Estudar o efeito de elementos nocivos presentes no entulho (como por exemplo, o gesso e a matéria orgânica), sobre a durabilidade do concreto.
- Aprofundar cada avaliação do concreto confeccionado com entulho, realizada neste trabalho, tais como:
 - detalhamento dos estudos de dosagens - Curva de Abrams;
 - confecção e avaliação real em obras de infra-estrutura urbana, da durabilidade de peças de concreto confeccionadas com entulho

ANEXOS

ANEXO A - FOTOS

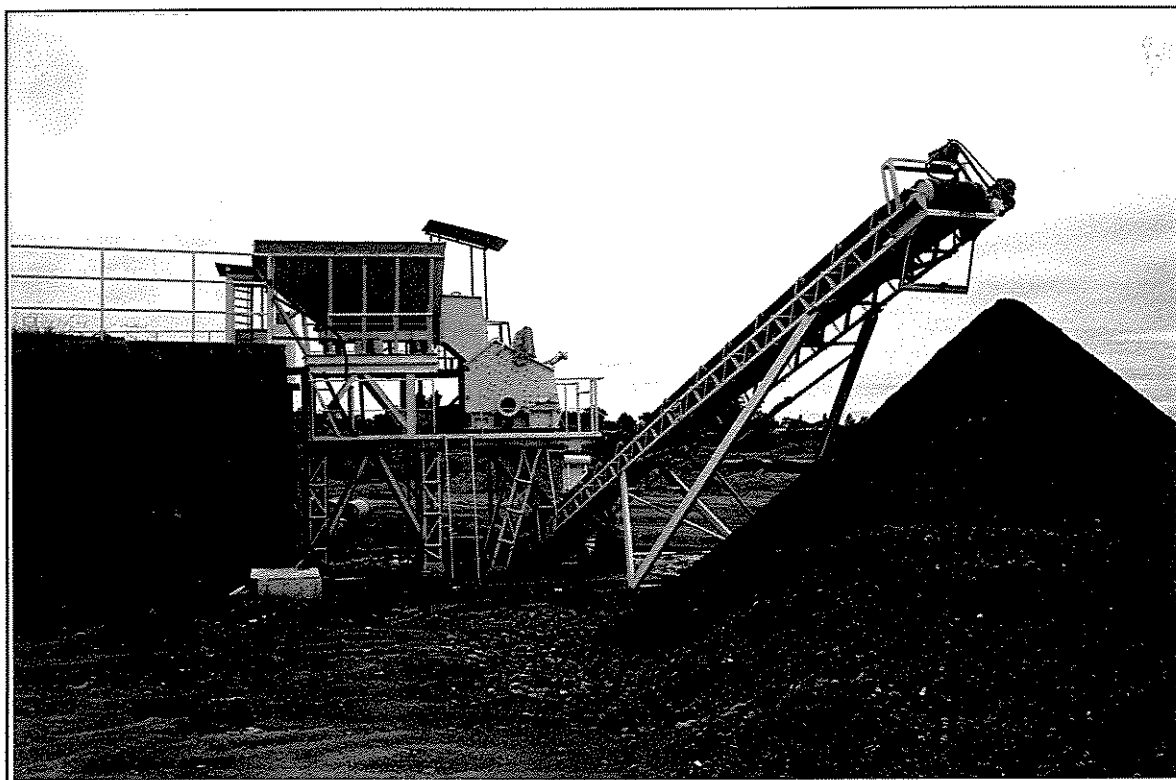


FOTO 1 - Usina de Reciclagem de Ribeirão Preto - Triturador primário.



FOTO 2 - Amostra do Entulho Coletado na Usina de Reciclagem.

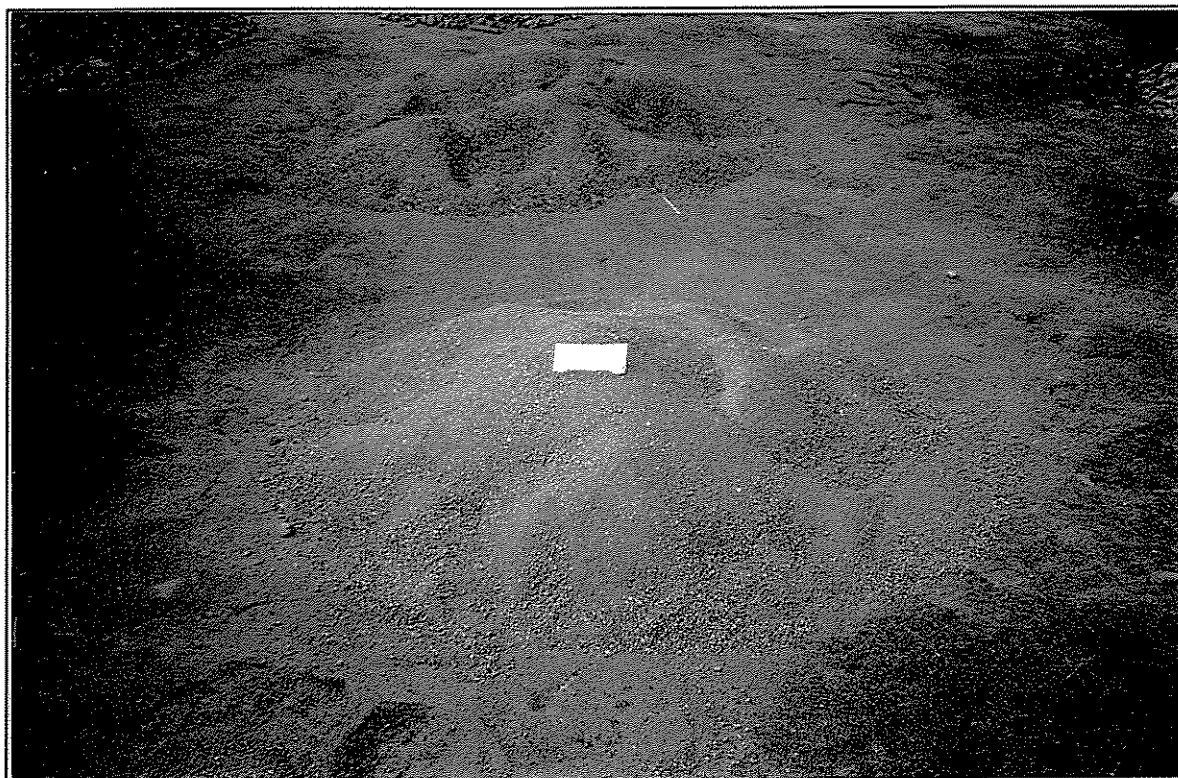


FOTO 3 - Parcela miúda do entulho utilizado como agregado.



FOTO 4 - Parcela graúda do entulho utilizado como agregado.



FOTO 5 - Detalhe da falta de aderência dos materiais cerâmicos polidos presentes no concreto.



FOTO 6 - Aspecto do concreto fresco produzido com o entulho reciclado.

ANEXO B - RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Tabela B1 - Análise granulométrica do entulho. Agregado miúdo - Amostra A

Peneiras (mm)	Massa Retida (kg)	Massa Acumulada (kg)	% Retida	% Acumulada
2,4	2,800	2,800	15,6	15,6
1,2	2,500	5,300	13,9	29,4
0,6	2,875	8,175	16,0	45,4
0,3	4,225	12,400	23,5	68,9
0,15	4,775	17,175	26,5	95,4
fundo	0,825	18,000	4,6	100,0

TABELA B2 - Análise granulométrica do entulho. Agregado miúdo - Amostra B

Peneiras (mm)	Massa Retida (kg)	Massa Acumulada (kg)	% Retida	% Acumulada
2,4	3,625	3,625	20,3	20,3
1,2	2,775	6,400	15,5	35,8
0,6	2,650	9,050	14,8	50,6
0,3	3,325	12,375	18,6	69,2
0,15	3,950	16,325	22,1	91,3
fundo	1,550	17,875	8,7	100,0

TABELA B3 - Análise granulométrica do entulho. Agregado miúdo - Amostra C

Peneiras (mm)	Massa Retida (kg)	Massa Acumulada (kg)	% Retida	% Acumulada
2,4	3,350	3,350	18,0	18,0
1,2	2,750	6,100	14,8	32,8
0,6	2,775	8,875	14,9	47,7
0,3	3,625	12,500	19,5	67,1
0,15	4,550	17,050	24,4	91,5
fundo	1,575	18,625	8,5	100,0

TABELA B4 - Análise granulométrica do entulho. Agregado miúdo - Amostra D

Peneiras (mm)	Massa Retida (kg)	Massa Acumulada (kg)	% Retida	% Acumulada
2,4	3,200	3,200	16,8	16,8
1,2	2,900	6,100	15,2	32,0
0,6	3,000	9,100	15,7	47,8
0,3	3,925	13,025	20,6	68,4
0,15	4,550	17,575	23,9	92,3
fundo	1,475	19,050	7,7	100,0

TABELA B5 - Análise granulométrica do entulho. Agregado graúdo, Amostra A

Peneiras (mm)	Massa Retida (kg)	Massa Acumulada (kg)	% Retida	% Acumulada
50	0,200	0,200	0,6	0,6
38	0,800	1,000	2,4	3,0
32	0,700	1,700	2,1	5,1
25	0,750	2,450	2,2	7,3
19	1,475	3,925	4,4	11,7
12,5	4,575	8,500	13,7	25,4
9,5	1,775	10,275	5,3	30,7
6,3	3,225	13,500	9,6	40,3
4,8	1,500	15,000	4,5	44,8
fundo	18,500	33,500	55,2	100,0

TABELA B6 - Análise granulométrica do entulho. Agregado graúdo - Amostra B

Peneiras (mm)	Massa Retida (kg)	Massa Acumulada (kg)	% Retida	% Acumulada
50	0,150	0,150	0,4	0,4
38	0,650	0,800	1,7	2,2
32	0,700	1,500	1,9	4,0
25	1,475	2,975	4,0	8,0
19	2,625	5,600	7,1	15,1
12,5	6,300	11,900	16,9	32,0
9,5	1,775	13,675	4,8	36,8
6,3	3,400	17,075	9,1	45,9
4,8	1,875	18,950	5,0	51,0
fundo	18,225	37,175	49,0	100,0

TABELA B7 - Análise granulométrica do entulho. Agregado graúdo - Amostra C

Peneiras (mm)	Massa Retida (kg)	Massa Acumulada (kg)	% Retida	% Acumulada
50	0,000	0,000	0,0	0,0
38	0,525	0,525	1,5	1,5
32	0,775	1,300	2,2	3,6
25	1,000	2,300	2,8	6,4
19	2,275	4,575	6,4	12,8
12,5	5,100	9,675	14,3	27,1
9,5	1,800	11,475	5,0	32,1
6,3	3,450	14,925	9,7	41,8
4,8	2,050	16,975	5,7	47,5
fundo	18,750	35,725	52,5	100,0

TABELA B8 - Análise granulométrica do entulho. Agregado graúdo - Amostra D

Peneiras	Massa Retida (kg)	Massa Acumulada (kg)	% Retida	% Acumulada
50	0,325	0,325	0,8	0,8
38	0,625	0,950	1,6	2,4
32	1,050	2,000	2,6	5,0
25	1,450	3,450	3,6	8,6
19	2,550	6,000	6,4	15,0
12,5	6,675	12,675	16,7	31,7
9,5	2,050	14,725	5,1	36,8
6,3	3,950	18,675	9,9	46,7
4,8	2,050	20,725	5,1	51,8
fundo	19,250	39,975	48,2	100,0

TABELA B9 - Análise qualitativa do entulho - Amostra A

MATERIAL	Quantidade (g)	Quantidade %
Argamassa	4.216	36,8
Cerâmica	1.674	14,6
Cerâmica polida	137	1,2
Concreto	2.270	19,8
Pedras	3.111	27,4
Outros	21	0,2
		100,0

TABELA B10 - Análise qualitativa do entulho - Amostra B

MATERIAL	Quantidade (g)	Quantidade %
Argamassa	2.039	35,7
Cerâmica	1.483	26,0
Cerâmica polida	147	2,6
Concreto	1.231	21,6
Pedras	769	13,5
Outros	44	0,8
		100,0

TABELA B11 - Análise qualitativa do entulho - Amostra C

MATERIAL	Quantidade (g)	Quantidade %
Argamassa	2.160	37,9
Cerâmica	1.356	23,8
Cerâmica polida	226	4,0
Concreto	1.225	21,5
Pedras	708	12,4
Outros	24	0,4
		100,0

**TABELA B15 - Resistência à compressão aos 28 dias - Fase final - Traço 1:3
CP cilíndrico 15 x 30 cm**

RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRAS UTILIZADAS				
	A	B	C	D	R*
CP1	30,0	23,7	20,7	23,9	49,8
CP2	31,7	23,2	21,5	23,7	19,5 ↓
CP3	29,4	23,5	21,5	23,4	---
CP4	30,0	24,0	20,7	23,1	---
Valor médio	30,3	23,6	21,1	23,5	--- **
Valor máximo	31,7	24,0	21,5	23,9	49,8
* Concreto de referência (areia e brita) ** Problemas ocorridos com o capeamento do CP ↓ Valor desprezado por problemas de capeamento					

**TABELA B16 - Resistência à compressão aos 28 dias - Fase final - Traço 1:5
CP cilíndrico 15 x 30 cm**

RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRAS UTILIZADAS				
	A	B	C	D	R*
CP1	19,8	18,4	16,6	18,7	29,8
CP2	21,2	17,8	16,5	18,4	30,0
CP3	19,8	18,1	16,4	16,8	---
CP4	21,5	18,4	16,6	20,4	---
Valor médio	20,6	18,2	16,5	18,6	29,9
Valor máximo	21,5	18,4	16,6	20,4	30,0
* Concreto de referência (areia e brita)					

**TABELA B17 - Resistência à compressão aos 28 dias - Fase final - Traço 1:7
CP cilíndrico 15 x 30 cm**

RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRAS UTILIZADAS				
	A	B	C	D	R*
CP1	14,7	14,1	12,7	15,0	15,3
CP2	15,6	13,6	13,0	10,5	15,0
CP3	11,3 ↓	14,1	13,6	12,4	---
CP4	15,3	14,1	13,3	13,6	---
Valor médio	15,2	14,0	13,2	13,7	15,1
Valor máximo	15,6	14,1	13,6	15,0	15,3
* Concreto de referência (areia e brita) ↓ Valor desprezado por problemas de capeamento					

TABELA B18 - Resistência à compressão aos 34 dias - Fase final - Traço 1:5 CP prismático 7,5 x 7,5 x 7,5 cm
Concreto utilizado no ensaio de desgaste à abrasão

RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRAS UTILIZADAS				
	A	B	C	D	R*
Valor Médio	19,5	16,9	15,7	20,8	36,1
Valor máximo	19,9	17,1	15,8	22,0	36,3
* Concreto de referência (areia e brita)					

TABELA B19 - Resistência à compressão aos 60 dias - Fase final - Traço 1:3 CP cilíndrico 15 x 30 cm

RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRAS UTILIZADAS				
	A	B	C	D	R*
CP1	32,4	25,5	22,3	26,0	57,8
CP2	31,7	25,1	23,2	25,5	57,9
CP3	31,8	25,4	23,2	25,0	---
Valor médio	32,0	25,3	22,9	25,5	57,9
Valor máximo	32,4	25,5	23,2	26,0	57,9
* Concreto de referência (areia e brita)					

TABELA B20 - Resistência à compressão aos 60 dias - Fase final - Traço 1:5 CP cilíndrico 15 x 30 cm

RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRAS UTILIZADAS				
	A	B	C	D	R*
CP1	22,6	19,8	18,0	20,3	35,8
CP2	23,3	20,5	17,8	19,9	36,7
CP3	23,0	20,4	17,9	20,2	---
Valor médio	23,0	20,2	17,9	20,1	36,3
Valor máximo	23,3	20,5	18,0	20,3	36,7
* Concreto de referência (areia e brita)					

**TABELA B21 - Resistência à compressão aos 60 dias - Fase final - Traço 1:7
CP cilíndrico 15 x 30 cm**

RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRAS UTILIZADAS				
	A	B	C	D	R*
CP1	17,4	16,7	14,4	15,7	17,5
CP2	16,6	16,0	13,7	16,0	17,7
CP3	17,3	16,0	13,8	15,8	---
Valor médio	17,1	16,2	14,0	15,8	17,6
Valor máximo	17,4	16,7	14,4	16,0	17,7
* Concreto de referência (areia e brita)					

**TABELA B22 - Valores das profundidades teóricas de penetração obtidas
no ensaio de permeabilidade (mm)**

CORPOS DE PROVA	AMOSTRAS				
	A	B	C	D	T
CP1	13	16	5	3	14
CP2	12	22	9	15	9
Média	12,5	19,0	7,0	9,0	11,5

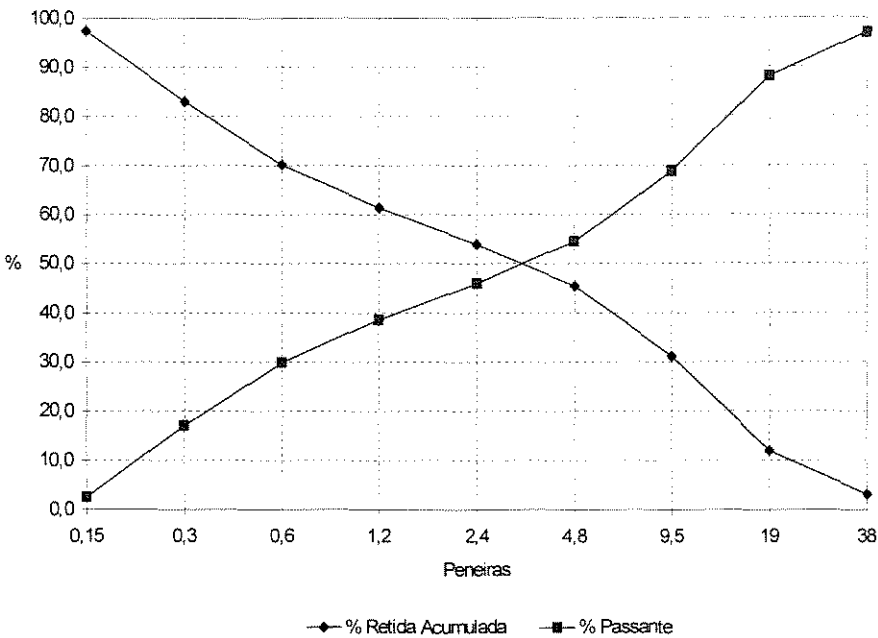


FIGURA B1 - Curvas granulométricas do entulho - Amostra A

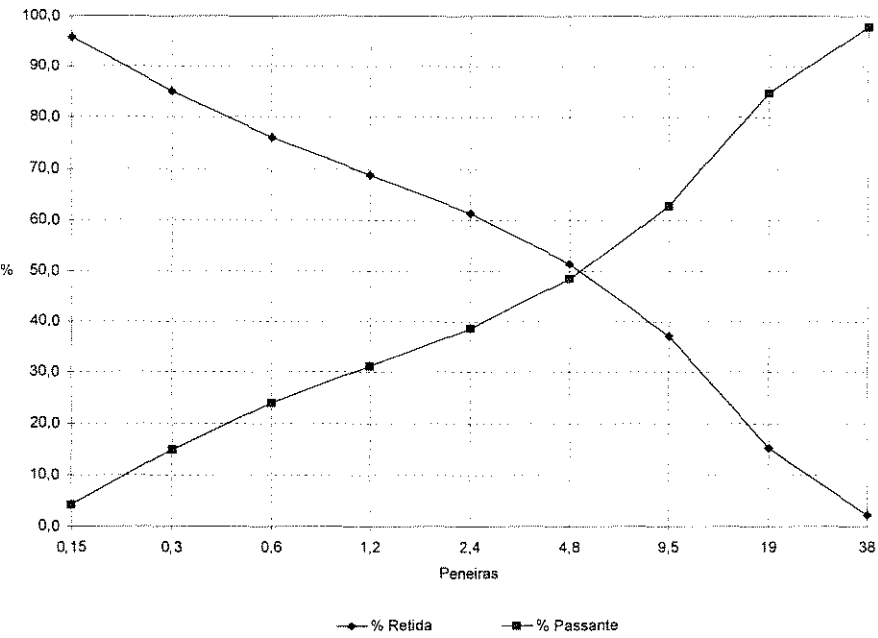


FIGURA B2 - Curvas granulométricas do entulho - Amostra B

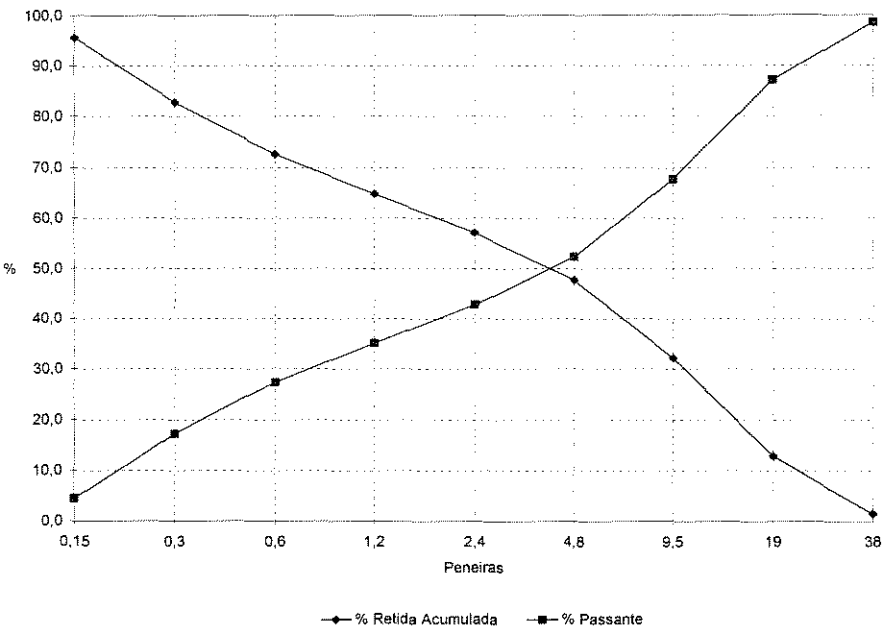


FIGURA B3 - Curvas granulométricas do entulho - Amostra C

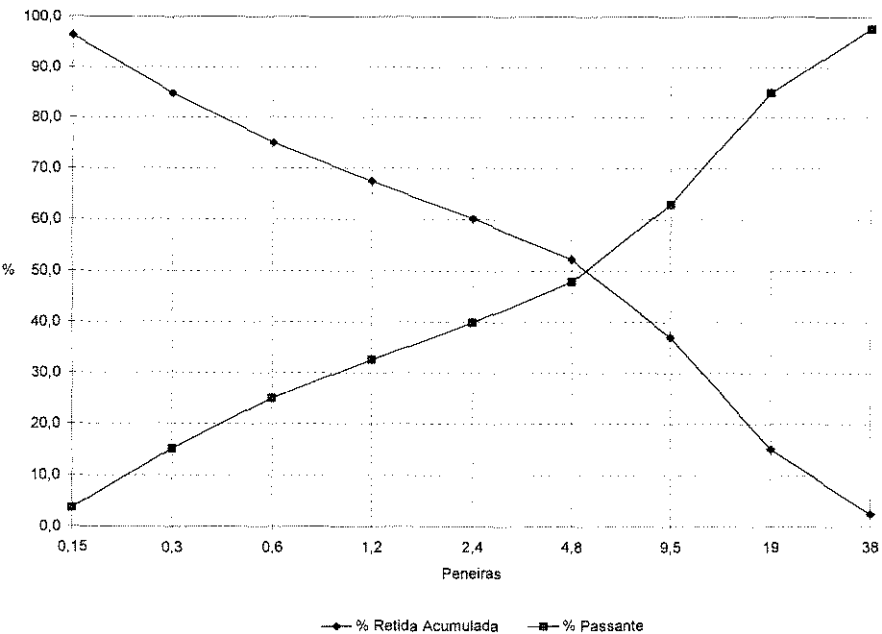


FIGURA B4 - Curvas granulométricas do entulho - Amostra D

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ANVI Comércio e Indústria Ltda. São Paulo, 1995. 4 p. (Catálogo comercial).
- 2 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10007** - Amostragem de resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro, 1987a.
- 3 _____. **NBR 12042** - Materiais inorgânicos - Determinação do desgaste por abrasão - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1990.
- 4 _____. **NBR 5738** - Moldagem e cura de corpos de prova de concreto, cilíndricos ou prismáticos - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- 5 _____. **NBR 5739** - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1980.
- 6 _____. **NBR 7211** - Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 1983.
- 7 _____. **NBR 7217** - Agregado. Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987b.
- 8 _____. **NBR 7223** - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982a.
- 9 _____. **NBR 7251** - Agregado em estado solto. Determinação da massa unitária - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982b.

- 10 _____. **NBR 9941** - Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório - Procedimento. Rio de Janeiro, 1987c.
- 11 BIOCYCLE. Canada targets C&D debris. v. 32, n. 1, p. 35-36, jan. 1991.
- 12 _____. Meeting the challenge of earthquake recycling. v. 35, n. 1, p. 55-57, nov. 1994.
- 13 _____. Opportunities for recycling C & D debris. v. 31, n. 7, jul. p. 56-58, 1990.
- 14 CAMPINAS. Secretaria de Serviços Públicos / Secretaria da Administração. Campinas: a gestão dos resíduos sólidos urbanos. Campinas, 1996. 224 p. ISBN 85-86223-01-8.
- 15 CEOTTO, L. H. O desperdício na construção civil. *Construção*. São Paulo: Pini, n. 2480, p. 12-13, ago. 1995.
- 16 CINCOTTO, A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. *A Construção*, São Paulo: Pini, n. 1855, p. 27-30, ago. 1983.
- 17 CONCRETE. Concrete re-cycled. Crushed concrete as aggregate. London, v. 27, n. 3, p. 9-13, may/ jun. 1993.
- 18 CONSTRUÇÃO. Do caos à solução. São Paulo: Pini, n. 2505, p. 4-7, fev. 1996a.
- 19 _____. O Desafio da Qualidade. São Paulo: Pini, n. 2504, p. 4-8, fev. 1996b.
- 20 _____. Para não virar pó. São Paulo: Pini, n. 2348, p. 10, fev. 1993.
- 21 _____. Qualidade vem para ficar. São Paulo: Pini, n. 2507, p. 4-7, fev. 1996c.

- 22 ENBRI Development of a framework for environmental assesement of building materials and componentes. (ENBRI Propposal to European Community BRITE EURAM Program). Mimeo. 18 mar. 1994.
- 23 GPI. Glass packaging institute solid waste & recycling policy. [http\:](http://www.gpi.org/swp2.htm) www.gpi.org/swp2.htm. nov. 1996.
- 24 GRN. Glossary of recycling terms. [http\:](http://www.gpi.org/swp2.htm) ass packaging institute solid waste & recycling policy. [http\:](http://www.grn.com/library/gloss-t.htmlr) www.grn.com/library/gloss-t.htmlr. nov. 1996.
- 25 HAMASSAKI, L. T, SBRIGHI NETO, C., FLORINDO, M. Uso do entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: PCC - USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 161 p. p. 109-117.
- 26 HANSEN, T. C. Recycled concrete aggregate and fly ash produce concrete without portland cement. *Cement and Concrete Research*, v. 20, n. 3, p. 355-356, 1990.
- 27 HANSEN, T. C., BØEGH, E. Elasticity and shrinkage of recycled-aggregate concrete. *ACI Journal*, v. 82, n. 56 p. 648-652, 1985.
- 28 HANSEN, T. C., NARUD, H. Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International. Design and construction*, v. 5, n. 7, p. 79-83, 1983.
- 29 JOHN, V. M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: PCC - USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 161 p. p. 21-30.
- 30 KELLY, K. , WILLIAMS, P. Spinning waste into gold in construction. *ENR - Engineering News - Record*, v. 234, n. 16, p. E.32-E.34, E.37, 1995.

- 31 LEVY, S. M., HELENE, P. R. L. Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: PCC - USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 161 p. p. 138-148.
- 32 _____. Reciclagem de entulhos na construção civil, a solução política e economicamente correta. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1995, Goiânia. *Anais...* Goiânia, 1995. 471 p. p. 315-325.
- 33 MAQBRIT Com. e Ind. de máquinas Ltda. São Paulo, 1996. 6 p. (Catálogo comercial).
- 34 MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. Concreto. Estrutura, propriedades e materiais. 1. ed. São Paulo: Pini, 1994. 573 p. ISBN 85-7266-040-2.
- 35 OFFERMANN, E. H. O futuro da reciclagem de entulho de construção (Tradução). *Hochschuljournal Essen*, n. 52, 1987.
- 36 PERA, J. State of the art report - use of waste materials in construction in western Europe. In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de construção, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: PCC - USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 161 p. p. 1-20.
- 37 PICCHI, F. A. *Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese (Doutorado). 1993. 462 p.
- 38 PINTO, T. P. De volta à questão do desperdício. *Construção*. São Paulo: Pini, n. 2491, p. 18-19, nov. 1995.

- 39 _____. *Perda de materiais em processos construtivos tradicionais*. São Carlos: Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos (Texto datilografado), 1989. 33 p.
- 40 _____. Reaproveitamento de resíduos de construção. *Revista Projeto*, n. 98, p. 137-138, 1987.
- 41 _____. *Utilização de resíduos de construção. Estudo do uso em argamassas*. São Carlos: Departamento de Arquitetura e Planejamento da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado), 1986. 148 p.
- 42 PINTO, T. P., PINTO, C. A. P. Qualidade com pequenas soluções. *Construção*. São Paulo: Pini, n. 2453, p. 12-14, fev. 1995.
- 43 PIT & QUARRY. Life after demolition. v. 82, n. 12, p. 30, 32, 37, jun. 1990a.
- 44 _____. Life after demolition. v. 83, n. 1, p. 38-40, 42, jul. 1990b.
- 45 _____. Oakland quarry expands with recycling. v. 86, n. 9, p. 24, 26-27, mar. 1994.
- 46 RILEM TC 121 - DRG. Specification for concrete with recycled aggregates. *Materials and Structures*, v. 27, p. 557-559, 1994.
- 47 SCHUCHOVSKI, J. L. Conceito e preconceito. *Construção*. São Paulo: Pini, n. 2486, p. 14, out. 1995.
- 48 SKOYLES, E. R. Materials wastage - a misuse of resource. *Building Research and Practice*, p. 232-243, jul./ aug. 1976.
- 49 SILVA, M. G., SOUZA, F. L. S., SILVA, V. G. *Reciclagem de cinza de casca de eucalipto e entulho de obra em componentes de construção*. . In: Seminário sobre reciclagem e reutilização de resíduos como materiais de

- construção, 1996, São Paulo. *Anais...* São Paulo: PCC - USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1996. 161 p. p. 102-108.
- 50 SOIBELMAN, L. *As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e seu controle*. Porto Alegre: Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado), 1993. 127 p.
- 51 TÉCHNE. Minas de entulho. São Paulo: Pini, n. 15, p. 15-19, mar./ abr. 1995.
- 52 TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., ELIASSEN, R. *Solid wastes: Engineering principles and management issues*. New York, 1977.
- 53 VAN ACKER, A. Recycling of concrete at a precast concrete plant. In: BIBM, 1996, Paris. *Anais...* Paris, 1996. . p. IVe.55-IVe.67.
- 54 WALSH, P. Establishing waste reduction and recycling potential as basic principles of engineering design. In: 21st Frontiers in Education Conference, 1991, West Lafayette. *Proceedings...* Piscataway: IEEE, 1991. p. 329-331.
- 55 WASTE AGE. A crisis is building. v. 23, n. 1, p. 26-36, jan. 1992.
- 56 WORLD WASTES. The deconstruction of C&D waste: nailing down the numbers. v. 37, n. 6, p. 36-38, jun. 1994.
- 57 YANNAS, S. F. Waste concrete as aggregate for new concrete. *ACI Journal*, v. 74, n. 37, p. 373-376, 1977.
- 58 YODA, K. et al. Chapman and Hall. In: 2nd International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 1988, Tokyo. *Proceedings...* Tokyo, 1988. p. 527-536.

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

- 1 ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11801** - Argamassa de alta resistência mecânica para pisos - Especificação. Rio de Janeiro, 1982.
- 2 _____. **NBR 6023** - Referências bibliográficas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.
- 3 _____. **NBR 7216** - Amostragem de agregados - Procedimento. Rio de Janeiro, 1987.
- 4 _____. **Projeto n. 14:02.02-002** - Apresentação de dissertações e teses. - Procedimento. Rio de Janeiro, 1984.
- 5 BAUER, L. A. F. Materiais de construção I. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Ed., 1994. 435 p. ISBN 82-216-1002-5.
- 6 BRITE-EURAM II: industrial and materials technologies - Technical content of work programme. *Materials & Design*, v. 13, n. 3, p. 169-174, 1992.
- 7 DE SENÇO, W. Pavimentação. São Paulo. 1972. 98 p.
- 8 FERREIRA, A. B. H. Novo dicionário básico da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Ed. Nova Fronteira, 1988. 687 p.

- 9 FRANÇA, J. L. et al. Manual para normalização de publicações técnico-científicas. 2. ed. rev. aum. (Coleção Aprender) Belo Horizonte: UFMG, 1992. 196 p.
- 10 GALIVAN, R. M., BERNOLD, L., E. Source evaluation of solid waste in building construction. *Journal of construction engineering and management*, v. 20, n. 3, p. 536-552, 1994.
- 11 IC912 Metodologia de pesquisa e redação científica. Campinas: BAE Unicamp, 1995. (Anotações de aula).
- 12 MICHELIN, R. G. Drenagem superficial e subterrânea de estradas. 2. ed. Porto Alegre, 1975.
- 13 TANGO, C. E. S. Meio Fio. *Téchne*. São Paulo: Pini, n. 25, p. 4, nov./dez. 1996.

ERRATA

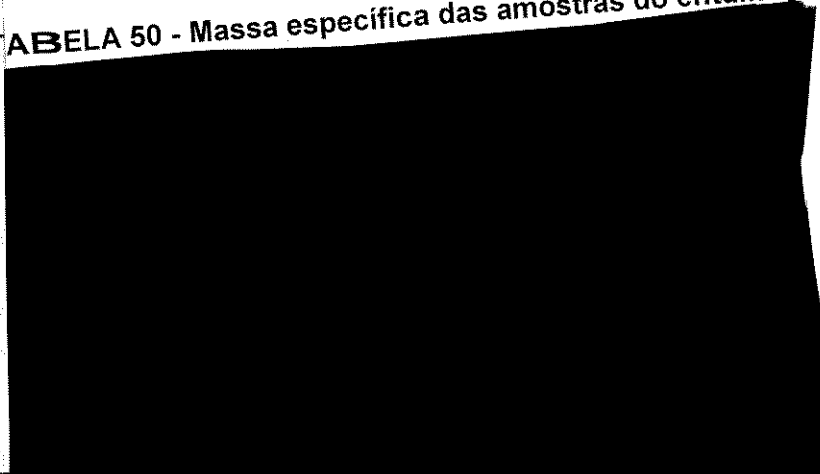
Na página 99, tabela 50 no lugar de:

TABELA 50 - Massa específica das amostras do entulho analisado

Amostra	Massa específica (kg/ dm ³)		
	Gratido	Miúdo	Integral
A	1,09	3,65	1,40
B	1,00	3,55	1,36
C	1,12	3,72	1,36
D	1,16	3,74	1,40
Média	1,09	3,67	1,39

Lê-se:

TABELA 50 - Massa específica das amostras do entulho analisado



ERRATA

Na página 99, tabela 50 no lugar de:

TABELA 50 - Massa específica das amostras do entulho analisado

Amostra	Massa específica (kg/dm ³)		
	Grude	Miúdo	Integral
A	1,09	3,65	1,40
B	1,00	3,55	1,36
C	1,12	3,72	1,38
D	1,16	3,74	1,40
Média	1,09	3,67	1,39

Lê-se:

TABELA 50 - Massa específica das amostras do entulho analisado