LUIZ RICARDO AMARO DA SILVA

UTILIZAÇÃO DO ENTULHO COMO AGREGADO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO RECICLADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Engenharia Civil

Orientador: Prof. Fathi Aref Darwish, PhD

Niterói

LUIZ RICARDDO AMARO DA SILVA

UTILIZAÇÃO DO ENTULHO COMO AGREGADO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO RECICLADO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre. Área de Concentração: Engenharia Civil

Aprovada em _	de	de 20	004	
		BANCA EXA	AMINADORA	
_				
	_		arwish – Orient al Fluminense	
		Prof ° Rome	u e Silva Neto	
Centr	o Educacion	al de Educaçã	o Tecnológica	– CEFET Campos
		Prof ° Orlando	o Celso Longo	
	Unive	ersidade Feder	al Fluminense	- UFF

Niterói 2004



AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas abaixo citadas que de um modo ou de outro colaboraram para a realização deste trabalho:

Ao meu orientador, Professor Fathi Aref, pelo apoio e incentivo.

Ao Prof° Jorge Reis pelo apoio e colaboração em todos os momentos.

Aos professores do Laboratório de Solos do CEFET Campos pelo apoio e compreensão.

À Direção do CEFET Campos, pela oportunidade e apoio nos momentos importantes.

À Coordenação do Curso de Construção Civil do CEFET Campos pelo apoio e incentivo.

Ao companheiro Romeu e Silva Neto, pelo empenho e dedicação para a realização do curso em nossa sede.

À Liana Nogueira de Andrade pela colaboração e apoio.

À Direção da Usina de Reciclagem de Entulho da Pampulha em BH, na pessoa do Eng. Jamir Nunes Coelho e demais funcionários.

À Assessoria de Comunicação Social da Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte na pessoa da Sra. Ana Climaco Heineck e do Eng. Itamar Gomes Cabral.

À todos os companheiros do Curso de Construção Civil do CEFET Campos pela colaboração e apoio.

À minha esposa, em especial, pela compreensão, apoio e incentivo.

Aos meus filhos, razão maior.

SUMÁRIO

AGRA	ADECIMENTOS	4
SUMÁ	ÁRIO	5
LISTA	A DE FIGURAS	8
LISTA	A DE TABELAS	9
lista d	le fotos	11
RESU	JMO	12
ABST	RACT	13
1	INTRODUÇÃO	14
1.1 1.2 1.3 1.3.1 1.3.2 1.4 1.5 1.6 1.7	ASPECTOS GERAIS PERTINENTES AO TEMA JUSTIFICATIVA OBJETIVOS Objetivo Geral Objetivos específicos RELEVÂNCIA DO ESTUDO METODOLOGIA MEIOS ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20 21 21 22 22
2	ALGUNS ASPECTOS RELACIONADOS À CONSTRUÇÃO CIVIL	26
2.1 2.2 2.3 2.4	PERDAS E DESPERDÍCIOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL – VISÃO GERAL. A CONSTRUÃO CIVIL E SUA IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL A CONSTRUÇÃO CIVIL E A QUALIDADE	33 37
3	OS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO	44
3.1 3.2 3.3 3.4	A GERAÇÃO DE RESÍDUOS E OS IMPACTOS CAUSADOS	50 53

3.5	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA O BENEFICIAMENTO DE RCDs	.59
4	PROGRAMA EXPERIMENTAL	.61
4.1 4.2	VARIÁVEIS DE ESTUDOAspectos Gerais da Produção da Usina de Reciclagem da Pampulha em 62	
4.3	METODOLOGIA	.63
4.4	Coleta das Amostras	
4.5	Quantidade e forma de coleta	
4.6	Armazenamento	
4.7.2	Composição do resíduo	.64
4.7.2.	1 Metodologia	.64
4.8	Caracterização Granulométrica	.65
4.8.1	Peneiras Utilizadas	.65
4.8.2	Metodologia	
4.9	Caracterização dos materiais	
4.9.1	Cimento	
4.9.2	Agregados	
4.10	Cura	
4.11	Relação água/cimento	
4.12	Confecção dos Corpos de Prova	
4.12.1		
4.13	Traços utilizados	
4.13.1		
4.13.2		
4.14	Determinação da Massa Específica e Massa Unitária	
4.15 4.16	Absorção de Água dos Agregados	
4.17	Resistência à Compressão Axial	
4.17.1	·	
4.17.1		
	Materiais pulverulentos	
4.19	Abrasão do agregado graúdo natural e reciclado	
4.15	Abrasao do agregado graddo natural e rediciado	. , _
5	APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTID 73	OS
5.1	Variáveis de Estudo	
5.2	Caracterização Qualitativa do Resíduo	
5.3	Caracterização Granulométrica	
5.3.1	Agregado Miúdo (natural e reciclado)	
5.3.2	Agregados Graúdos (natural e reciclado)	
5.4	Confecção dos Corpos de Prova	
5.4.1	Fase Intermediária	
5.4.2	Fase final	
5.5	Massa Específica e Massa Unitária	.80
5.6	Absorção de água dos agregados reciclados	.81
5.7	Resistência à compressão	
571	Fase intermediária	83

	Fase final	
5.9	Abrasão do agregado graúdo natural e graúdo reciclado	.87
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUR 89	os
REFE	RÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.92
ANEX	O A - fotos	.98
ANEX	O B - RESULTADO DOS ENSAIOS1	06

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. – Evolução da participação relativa da construção civil no PIB bras	ileiro 34
Figura 2.2 Participação, em Porcentagem, do PIB Nacional, dos subsetore	es do
Construbusiness	34
Figura 2.3. População ocupada na construção civil e participação relativa do	setor
na população ocupada brasileira	35
Figura 2.4. – Encadeamento dos principais setores da economia brasileira	36
Figura 2.5. – Formação de investimento bruto – Brasil (%)	36
Figura 2.6. – Déficit Habitacional – Brasil (milhões de pessoas)	37
Figura 5.1. – Composição dos resíduos de construção e demolição coletado	s na
Usina de Reciclagem de Entulho da Pampulha em Belo Horizonte/MG	75
Figura 5.2. Curva granulométrica do agregado miúdo natural	77
Figura 5.3. Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado	77
Figura 5.4. Evolução da absorção pelos agregados	82
Figura 5.5 Curva de Abrams	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1. Unidades de recebimento de pequenos volumes em Belo Horizonte/MG
Tabela 1.2 Custos de gerenciamento de resíduos de construção em alguns municípios (1) 19
TABELA 2.1. – Perda de materiais em processos construtivos convencionais conforme pesquisa realizada em 12 estados29
TABELA 2.2 – Resultados de pesquisas de desperdício de materiais em três construções residenciais (PICCHI, 1993)30
TABELA 2.3 – Índices de perdas verificados na construção de um edifício (PINTO, 1989)31
TABELA 2.4 – Obras estudadas para levantamento de perdas de materiais (FRANCHI et al.,1993) 32
TABELA 2.5 - Resultados de pesquisas de perdas de materiais (FRANCHI et al.,
1993)
brasileira
Tabela 3.1 - Estimativa da geração de RCD por novas edificações formais nos municípios brasileiros
Tabela 3.2 . Informações básicas sobre os municípios pesquisados (PINTO, 1999) 45 Tabela 3.3 – Composição típica dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1997)46
Tabela 3.4 – Geração de resíduos de construção em alguns municípios brasileiros (t/hab.ano)
Tabela 3.5. – Distribuição da ocorrência de vetores em áreas com descarte de RCDs em São José do Rio Preto – 1996 (1)
Tabela 3.6. Unidades de recebimento de pequenos volumes em Belo Horizonte/MG
Tabela 3.7. Despesas totais de algumas municipalidades com gestões (PINTO, 1999)
Tabela 3.8. Classificação dos agregados graúdos reciclados para concreto (RILEM, 1994)
Tabela 4.1 Peneiras utilizadas para a caracterização granulométrica – agregado graúdo
Tabela 4.2. – Peneiras utilizadas para a caracterização granulométrica – agregado miúdo
Tabela 4.3. – Concretos produzidos na fase intermediária – traço 1:6 68
Tabela 4.4 . Traços empregados na produção de concretos (fase final)
fator a/c e idade dos concretos - (fase intermediária)

Tabela 5.1 Porcentagem dos constituintes encontrados na amostra de	e resíduo
analisada	74
Tabela 5.2. – Caracterização granulométrica do agregado miúdo natural	75
Tabela 5.3. – Caracterização granulométrica do agregado miúdo reciclado .	
Tabela 5.4. – Caracterização granulométrica do agregado graúdo natural	
Tabela 5.5 . – Caracterização granulométrica do agregado graúdo reciclado	78
Tabela 5.6. Valores da consistência do concreto na fase intermediária o	le acordo
com o fator a/c e do percentual de substituição dos agregados	
Tabela 5.7. Traços, fatores a/c e consistência dos concretos produzidos na	fase final
	80
Tabela 5.8. Massa específica e unitária dos agregados	81
Tabela 5.9. Absorção média dos agregados	82
TabELA 5.10 - Resistência média à compressão alcançada pelos concretos	
e 28 dias – fase intermediária – fator a/c 0.80	83
Tabela 5.11 Evolução da resistência dos concretos em função da idade	84
Tabela 5.12 Análise comparativa da resistência média à compressão ao	s 28 dias
entre os concretos produzidos com agregados reciclados e o concreto con	vencional
	85
Tabela 5.13 Resistência média à compressão axial aos 28 dias e cor	isumo de
cimento dos concretos – fase final	86
Tabela 5.14 Material pulverulento dos agregados graúdos	87

LISTA DE FOTOS

Foto 1 – Separação manual do resíduo de construção e demolição	98
Foto 2 – Britagem primária dos Resíduos de Construção e Demolição	99
Foto 3 – Aspecto do entulho "Tipo A" após passar pelo peneiramento elétrico	99
Foto 4 - Material produzido pela usina de reciclagem da Pampulha/BH	100
Foto 5 – Entulho não aproveitado – rejeito	100
Foto 6 - Coleta das amostras com o auxílio do pessoal da usina	101
Foto 7 - Armazenamento do entulho no CEFET - CAMPOS/RJ	101
Foto 8 – Material em estufa para estudo da composição do resíduo	102
Foto 9 – Separação dos constituintes do resíduo	102
Foto 10 – Pesagem dos constituintes do resíduo	103
Foto 11 – Peneiramento mecânico dos resíduos	103
Foto 12 – Moldagem dos corpos de prova	104
Foto 13 – Produção dos concretos	104
Foto 14 – Armazenamento dos corpos de prova na câmara úmida	

RESUMO

Ao mesmo tempo em que as áreas para a disposição dos resíduos de construção e demolição estão cada vez mais escassas nos grandes centros, o volume gerado desses materiais só vem aumentando, ano após ano. Como consegüência, a poluição ambiental e a qualidade de vida da população nessas regiões têm sido constantemente afetados. O estudo pretende mostrar que o reaproveitamento desses materiais é perfeitamente possível e essencial. Os testes mostraram que o entulho pode ser utilizado como agregado para a produção de concreto não estrutural, em obras de infra-estrutura urbana. O resíduo, coletado numa usina de reciclagem após sofrer um beneficiamento primário, passou por uma análise qualitativa e granulométrica, sendo, posteriormente, confeccionados corpos de prova nos mais variados traços e fatores água/cimento e submetidos a ensaio de resistência à compressão axial simples. Em algumas situações, os resultados alcançados pelos concretos reciclados chegaram até mesmo a superar os resultados obtidos pelo concreto convencional. O estudo, portanto, vem reforçar resultados alcançados em trabalhos anteriores no que diz respeito ao uso do entulho como agregado, onde se conclui que o seu aproveitamento é perfeitamente viável, desde que o mesmo passe por um processo de beneficiamento e seleção, para que seja retirada a parte não desejada do mesmo, melhorando a qualidade do material. Portanto, a reciclagem pode ser uma das formas mais eficientes para a redução da poluição ambiental nas grandes cidades, vindo contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população.

ABSTRACT

Sites available for the disposal of residues resulting from construction works as well as from the demolition of urban buildings are getting increasingly rare, especially in great population centers. As the volume of residues generated annually is increasing year after year, ambient pollution is expected to be on the rise and this, in turn, would adversely affect the quality of life in these centers. The present study was therefore undertaken in an effort to explore the possibility of making use of these residues, thus eliminating the negative effects associated with their accumulation. Experimental results obtained in the study have shown that construction residues can be used as aggregates for the production of nonstructural concrete for use in urban infrastructure construction works. The residues, which were collected and primarily treated in a recycling plant, were sorted out and granulometrically analyzed before they were incorporated as aggregates in producing concrete. Different concretes were in fact produced by varying the quantity of aggregates as well as the watercement ratio, and cylindrical test specimens were molded, cured and then submitted to uniaxial compression testing. The results obtained indicated that the concretes elaborated with the recycled material were comparable in quality to their respective conventional concretes. This confirms results reported in other works regarding the successful use of construction and demolition residues as aggregates. However, the residues should be properly treated and selected with the objective of removing undesirable components. It is thus concluded that the recycling process, if adopted as a regular practice, represents an efficient and viable way of reducing pollution in big cities, thus improving quality of life of the population.

1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS PERTINENTES AO TEMA

O setor de Construção Civil, apesar de sua importância dentro da economia no Brasil, sempre esteve muito ligado a questões relacionadas a perdas e desperdícios. É fato que o tema não vinha sendo prioridade para o setor até bem pouco tempo atrás. Assim sendo, a indústria da construção civil ficou defasada em relação a outros segmentos industriais quando se trata do assunto, e ainda apresenta números preocupantes em relação a perdas e desperdícios.

É verdade que as perdas na Construção Civil são grandes se comparadas a outros setores, mas dimensioná-las não é assim tão fácil, principalmente, devido às suas características particulares, como uma complexa cadeia produtiva, envolvendo uma série de operações para se chegar a um produto final.

O fato é que não houve por parte das empresas (a maioria delas), até bem pouco tempo atrás, uma preocupação em desenvolver novos processos produtivos ou novas tecnologias. Isso devido, talvez, pelo fato de existir no Brasil um enorme déficit habitacional, com uma grande demanda reprimida e com isso, uma facilidade de escoamento das vendas, independente da qualidade do produto e de seu custo.

Desse modo, o desenvolvimento tecnológico do setor não acompanhou a velocidade alcançada em outros segmentos, onde, devido a uma maior competitividade, a implantação de sistemas de melhoria da qualidade, a redução de custos, o aumento da produtividade, a informatização, a melhoria de processos e políticas de aperfeiçoamento e valorização profissional foram implantadas há algum tempo.

O setor apresenta até os dias atuais processos tradicionais, com pouco

investimento em tecnologia e melhoria de processos (exceção para algumas empresas situadas em grandes centros); a grande maioria das empresas está na faixa das pequenas e médias empresas, com carência em recursos para investimentos em desenvolvimento tecnológico e humano. Além disso, há ainda a questão cultural do setor, onde a mão-de-obra sempre foi de baixa qualidade, com um alto nível de rotatividade, sem treinamento, baixos salários, desmotivada e resistente a mudanças. Tudo isso vem contribuir para o que o índice de perdas e desperdícios do setor seja alto.

Esse quadro tem sofrido alguma alteração, embora num ritmo ainda lento, nas últimas décadas, em função de algumas situações conjunturais (políticas, econômicas, sociais e até mesmo legais), que têm obrigado o setor a rever seus procedimentos empresariais. Dentre esses fatores poderíamos citar o Código de Defesa do Consumidor e os órgãos de fiscalização, como os Procons, que vieram provocar uma consciência por parte da população em relação aos seus direitos e criar facilidades de acesso junto aos poderes competentes em relação aos abusos que sempre existiram no Brasil com o contribuinte.

Desse modo, o perfil do consumidor brasileiro tem mudado nos últimos anos, em função, principalmente, de possuir um maior nível de informação, o que vem aumentar o seu grau de exigência em relação aos produtos adquiridos. Novas necessidades também vêm surgindo a partir de mudanças de hábitos, cultura e comportamento, modificando a relação produtor-consumidor.

Alem disso, o aumento da concorrência, a implantação de sistemas da qualidade em outros setores da economia, a recessão econômica, a globalização, a queda do poder aquisitivo da população, a necessidade de redução dos custos, a diminuição na margem de lucro, a exigência de certificação da qualidade por parte de órgãos e empresas governamentais, como a CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, a PETROBRÁS, para a participação em licitações, todos esses fatores têm provocado mudanças no comportamento empresarial, até como forma de sobrevivência.

No Brasil, o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Construção e no Habitat (PBQP-H), pode ser considerado um passo importante no sentido de se buscar, de forma padronizada, avanços na qualidade e produtividade para o setor.

Criado em 18 de dezembro de 1998, através da Portaria nº 134, do antigo Ministério do Planejamento e Orçamento, o PBQP-H tem como objetivo geral "apoiar o esforço brasileiro de modernidade, através da melhoria da qualidade, do aumento da produtividade e redução de custos da construção civil", através de uma parceria entre o Governo Federal e diversas entidades representativas, como SINDUSCON, SENAI, SEBRAE, BNDES, FINEP etc.

Uma das grandes virtudes do PBQP-H é a criação e a estruturação de um novo ambiente tecnológico e de gestão para o setor, não só em medidas ligadas à tecnologia no sentido estrito (processos de produção, execução e controle), mas também em tecnologias de organização, de métodos e de ferramentas de gestão (gestão de RH, gestão da qualidade, de projetos etc).

Além da questão da qualidade e produtividade, outro fato que tem causado muita preocupação para a Construção Civil e para a sociedade como um todo, é a questão ambiental. O chamado desenvolvimento sustentável, a busca por uma melhoria na qualidade de vida, principalmente nos grandes centros urbanos, onde os níveis de poluição ambiental chegaram a índices acima do tolerável, tudo isso vem contribuir para novas posturas e ações empresariais e governamentais. Todo esse processo de conscientização ambiental vem contribuir para que a reciclagem dos resíduos de construção e demolição ganhe certa importância no cenário nacional quando se fala em desenvolvimento sustentável.

O gerenciamento dos resíduos nos grandes centros urbanos está se tornando cada dia mais difícil, devido à falta de aterros próximos às zonas centrais, fazendo com que o custo da remoção e aterramento desses materiais fique cada vez maior.

Esse fato vem contribuir para o depósito clandestino dos mesmos, seja em terrenos baldios, ao longo das margens dos rios, nas ruas periféricas etc, causando enchentes, poluição ambiental, proliferação de vetores de doenças, trazendo como conseqüência um enorme custo social e ambiental, tanto para a população quanto para o governo.

Preocupadas com esse problema, algumas cidades (São Paulo, Belo Horizonte, Ribeirão Preto dentre outras) começaram a implantar locais apropriados

para o recebimento desses materiais. As usinas de reciclagem de entulhos.

Nesses locais, o entulho é depositado em uma área própria, a sua fração não mineral (madeira, plásticos, papéis etc) é separada e descartada, e a sua fração mineral (argamassa, areia, concreto etc) passa por processo de trituração, através de um britador, na granulometria desejada, para, finalmente, ser aproveitado conforme o planejado.

No Brasil, a primeira usina de reciclagem de entulho foi inaugurada em Novembro de 1991, em Itatinga, sul de São Paulo. A instalação da usina custou mais de 1 milhão de dólares e devido a problemas de localização – era distante da região central – andou um tempo desativada. De acordo com PINTO (1993), "faltou planejamento na implantação da usina, porque ninguém anda quilômetros para levar entulho à usina".

Um exemplo bem sucedido vem ocorrendo na cidade de Belo Horizonte, aonde vem sendo desenvolvido, desde 1993, um plano de gestão denominado Programa de Correção Ambiental e Reciclagem dos Resíduos de Construção. Coordenado pelo Arquiteto Tarcísio de Paula Pinto, o plano faz parte de um conjunto maior de ações que constitui o Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte (SLU,1993) desenvolvido pela equipe técnica da Superintendência de Limpeza Urbana. O plano foi premiado pela Fundação Ford e Fundação Getúlio Vargas, em 1996, como a melhor experiência de gestão municipal brasileira.

O plano tem, dentre outros objetivos, a eliminação de pontos clandestinos de descarte e a possibilidade da utilização de materiais de construção alternativos a custos mais baixos. O projeto prevê o reaproveitamento do entulho como argamassas, blocos de alvenaria, sub-base de pavimentação etc. O projeto prevê, também, a participação da população nesse processo, buscando uma conscientização em relação aos depósitos dos resíduos nos locais apropriados.

Cerca de 50% dos resíduos coletados diariamente em Belo Horizonte são entulhos provenientes da Construção Civil. A **tabela 1.1** apresenta algumas informações básicas referentes às Unidades de Recebimento implantadas em Belo Horizonte.

Tabela 1.1. Unidades de recebimento de pequenos volumes em Belo Horizonte/MG

UNIDADE DE RECEBIMENTO (1)	BARÃO 300	BARRAGEM Sta Lúcia	SARAMENHA	ANDRADAS	TOTAL
VOLUME MÉDIO MENSAL RECEBIDO (m³)	240	30	210	329	809
MÉDIAS DE VIAGENS MENSAIS RECEBIDAS (unid)	596	77	648	528	1849
CARROCEIROS NUCLEADOS	66	13	72	116	267

(1) Conforme relatórios internos da SLU – Superintendência de Limpeza Urbana

Fonte: PINTO (1999)

Em Londrina, no Paraná, foi inaugurada, em 1994, a Central de Moagem de Entulhos, a primeira do estado. A Central iniciou com uma produção de 1000 tijolos /dia, com o objetivo de atender a construção de casas populares. Com a implantação da Central, os quase 4 mil pontos de despejos de entulho que existiam no município foram praticamente extintos.

Outra cidade a implantar uma Usina de Reciclagem foi Ribeirão Preto, onde o material produzido é utilizado na recuperação de estradas municipais.

No Estado do Rio de Janeiro, existe um projeto de reciclagem de RCD no município de Macaé, região norte do estado. A Usina de Reciclagem de Entulhos de Macaé foi inaugurada em março de 2000 num projeto da Secretaria de Obras e Serviços Públicos e teve como base o trabalho desenvolvido pela prefeitura de Belo Horizonte.

Nela, o material reciclado é reutilizado em obras públicas, como calçamentos e construção de casas populares. Os restos de concreto, tijolos, telhas etc, são transformados em um pó granulado que, misturados com água e cimento, podem ser utilizados na confecção de blocos pré-moldados e na pavimentação de vias públicas da cidade. Antes do processo de trituração, faz-se uma separação manual do material não aproveitável (não mineral), o qual será levado para o aterro sanitário da região.

O gerenciamento de resíduos, ou seja, a remoção e o aterramento, têm um custo maior que a sua reciclagem. A tabela 1.2 mostra um estudo realizado por LIMA (1999), onde são apresentados os custos de gerenciamento de resíduos de construção em algumas cidades do Brasil.

Tabela 1.2. - Custos de gerenciamento de resíduos de construção em alguns municípios (1)

Município	Fonte	Custo	
Belo Horizonte/MG	SLU-1993	US\$ 7,92 /t	
São José dos Campos/SP	I&T-1995	US\$ 10,66 /t	
Ribeirão Preto/SP	I&T-1995	R\$ 5,37 /t	
São José do Rio Preto/SP	I&T-1997 1	R\$ 11,78/t	

Fonte: LIMA (1999)

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição traz uma série de benefícios, como a redução no consumo de recursos naturais não-renováveis (John, 2000), redução de áreas necessárias para aterros - segundo PINTO (1999), os RCD representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos -, redução no consumo de energia durante o processo de produção, redução da poluição, como por exemplo, a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico (CO2) utilizando escória de alto forno em substituição ao cimento portland (JOHN, 1999) - e, finalmente, a reciclagem pode auxiliar na produção de materiais de menor custo, diminuindo o custo das edificações e de obras de infraestrutura, como rodovias, ferrovias etc.

O Governo Federal, dentro deste quadro, preocupado em atender às novas demandas em relação às questões ambientais, estabeleceu em 1981, através da Lei 6.938, a Política Nacional do Meio Ambiente, e criou o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) que tem como finalidade assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos humanos. Alem disso, o CONAMA tem como finalidade deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado.

O CONAMA é composto de diversas Câmaras Técnicas e dentre elas a que está mais diretamente ligada a questão dos resíduos é a Câmara de Saúde, Saneamento e Gestão de Resíduos.

A Resolução do CONAMA número 307, de 05 de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a Gestão de Resíduos da Construção Civil e cria a cadeia de responsabilidades: gerador/transportador/municípios.

Desse modo, pesquisas que venham tratar de alternativas para a questão dos resíduos, serão de grande importância, não só em relação a questão ambiental, mas, também, por possibilitar o uso de novos materiais alternativos, com custos baixos e um campo vasto para ser empregado.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os estudos relacionados à reutilização dos RCDs no Brasil ainda estão numa fase embrionária se comparados com trabalhos desenvolvidos em alguns países europeus e os Estados Unidos. A falta de leis (federais, estaduais e municipais) e de órgãos, que tivessem a responsabilidade sobre o assunto também contribuiu para esse atraso.

Mesmo já existindo algumas ações isoladas por parte do Governo Federal e de algumas prefeituras, ainda temos que criar uma conscientização nacional em relação a importância que o tema merece.

A Universidade Federal Fluminense (UFF) tem desenvolvido estudos sobre a utilização de materiais alternativos na construção civil há alguns anos.

Em relação aos resíduos de construção, especificamente, SEPÚLVIDA (1996) estudou a substituição do agregado miúdo natural pelos RCDs para confecção de argamassas e artefatos de cimento.

FREITAS (1996) adicionou cinzas provenientes da queima do bagaço de cana ao cimento Portland para a obtenção de tijolos de solo-cimento a custos mais baixos. Os estudos comprovaram que o material poderia ser utilizado para vedações em geral.

Nesta mesma universidade, um dos primeiros trabalhos realizados sobre materiais alternativos foi de LOUZADA (1991), que desenvolveu um estudo sobre a utilização de escórias siderúrgicas como agregado para fabricação de blocos prémoldados de concreto para alvenaria.

Assim sendo, o presente trabalho pretende ser mais um instrumento que venha contribuir para futuras ações que visem a utilização desses materiais (RCDs) como recursos alternativos na construção civil.

O estudo pretende fornecer subsídios técnicos aos órgãos competentes para a implantação de políticas que venham facilitar o gerenciamento da reciclagem dos resíduos da construção civil, seja através de incentivos fiscais ou outros mecanismos, como maior facilidade a financiamentos, por exemplo.

O estudo procura mostrar, também, através de números reais que a situação dos RCDs no Brasil tende a se agravar e muito, se não forem tomadas medidas conjuntas por parte de todos os órgãos responsáveis; e que a reciclagem é um processo natural dentro desse contexto, pois que, no futuro não teremos mais locais apropriados para a deposição desses resíduos e, tampouco, os recursos naturais necessários para fabricação dos materiais de construção.

Outro ponto importante, e que deve ser destacado, é que o estudo possibilitará mudanças de atitude em relação a palavra "entulho", geralmente tão descriminada.

Entulho por definição é um material inútil proveniente de demolição, escombros, ruínas, ou, também pode ser definido como coisa sem valor, sem préstimo. O estudo irá provar que esses conceitos não mais traduzem a realidade e que os antigos paradigmas devem ser revistos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar, através de ensaios, as propriedades mecânicas dos concretos (resistência à compressão, trabalhabilidade) produzidos com agregados reciclados

provenientes de resíduos de construção e demolição, visando à sua utilização como elementos não estruturais em obras de construção civil e de pavimentação.

1.3.2 Objetivos específicos

- Fornecer subsídios técnicos para a implantação de políticas que venham incentivar o uso dos resíduos de construção e demolição como materiais alternativos para a construção civil;
- Mostrar, através de números, que a geração dos resíduos de construção e demolição no Brasil é preocupante, pois que já não existem áreas para a disposição dos mesmos em grandes centros urbanos, o que tem provocado sérios problemas ambientais, com prejuízo da qualidade de vida da população;
- O estudo pretende, também, provocar uma mudança de atitude em relação a palavra entulho (tão discriminada), procurando mostrar que o mesmo pode ser perfeitamente reaproveitado, trazendo, assim, enormes benefícios para a população em geral.
- Finalmente, o estudo pretende promover os mais variados testes de laboratório visando um estudo detalhado do comportamento do resíduo como agregado; verificar as características mecânicas do concreto reciclado, como resistência e trabalhabilidade, através dos mais variados traços e fatores água/cimento, em comparação com o concreto convencional, visando o uso como concreto não estrutural.

1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O volume de entulho gerado anualmente é enorme e a tendência é de crescimento contínuo e acelerado caso não sejam tomadas determinadas ações.

O desenvolvimento de novos processos e técnicas construtivas, por exemplo, ajudariam a minimizar essa situação, assim como a racionalização de projetos, a qualificação da mão-de-obra etc. Porém, essas ações teriam um impacto maior a médio e longo prazo e não teriam um efeito tão grande como uma política que incentivasse o uso de resíduos da construção.

No Brasil, segundo PINTO (1996), há uma produção de entulho de 0,9 tonelada por metro quadrado construído. Outros dados do autor mostram que são geradas 0,52 toneladas por habitante de entulho e que eles representam de 54% a 61% da massa de resíduos sólidos urbanos por ano.

LEVI (1997), chegou ao valor de 1100 m3 por dia de entulho gerado apenas na cidade de São Paulo considerando um coeficiente de 0,10 m³/m² construído.

De acordo com RUCH et al. (1997b), são gerados na Alemanha cerca de 33 milhões de toneladas por ano. Na Inglaterra, cerca de 70 milhões de toneladas/ano (FREEMAN; HARDER, 1997), na França, de 20 a 25 milhões (BOILEAU, 1997). No oeste Europeu, cerca de 0,7 a uma tonelada por habitante, quase duas vezes a massa de resíduo sólido municipal (SIMONS, HENDERIECKK, 1993).

No mundo, a questão da reciclagem de entulho tem sido estudada em vários países como França, Alemanha, Japão, Bélgica etc. Na Alemanha há reciclagem de cerca de 60% do entulho gerado; na Holanda, mais de 80% (CABRERA et al., 1997).

Nos últimos anos, a preocupação com o tema vem aumentando, tanto que a Comissão da Comunidade Européia (CEC) classificou o entulho como resíduo prioritário (RUCH et al., 1997a).

Portanto, a reciclagem de entulho não deve ser encarada como uma coisa passageira, um modismo, ela veio para ficar, pois que já não existem espaços urbanos em abundância para o depósito dos mesmos, fato que obriga os governos a traçar políticas que tratem esse problema de uma forma mais responsável, buscando minimizar os danos ao meio ambiente, reduzindo os custos sociais e melhorando a qualidade de vida da população.

1.5 METODOLOGIA

O estudo pode ser dividido em duas grandes etapas:

Etapa 1 – Esta etapa contempla basicamente os capítulos 2 e 3 do trabalho e diz respeito à pesquisa bibliográfica realizada durante a maior parte do estudo, onde foi feita uma abordagem geral sobre alguns aspectos relacionados à construção civil

e mais especificamente, sobre a questão da geração dos RCDs no Brasil e no mundo.

Etapa 2 – Esta etapa diz respeito ao programa experimental realizado na fase final dos estudos. Os dados relativos a esta etapa estão contidos nos capítulos quatro, cinco e seis. O programa experimental foi dividido em algumas fases, a saber:

- 1. Fase inicial ou preparatória onde se fará a coleta, a preparação e análise do resíduo a ser utilizado;
- 2. Fase intermediária onde serão realizados ensaios de resistência à compressão axial do concreto, aos 3, 7 e 28 dias. Esta fase terá como objetivos analisar o comportamento do concreto em função da porcentagem dos agregados reciclados presentes nos traços e, também, analisar a variação da consistência do concreto em função do fator a/c.
- 3. Fase final, que teve como referência os resultados obtidos na fase anterior e como objetivo otimizar os resultados obtidos naquela fase, definindo valores mais específicos para os traços e consistência do concreto.

1.6 MEIOS

As pesquisas bibliográficas serão os principais meios utilizados para o desenvolvimento do trabalho, bem como consultas a internet, visitas técnicas, participação em congressos, seminários etc.

1.7 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A apresentação do trabalho está dividida em seis capítulos. O primeiro capítulo faz uma breve introdução em relação ao tema, trata da importância do mesmo, dos objetivos da pesquisa, da metodologia e dos meios utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

O segundo capítulo abordará questões gerais relacionadas à Construção Civil, como as perdas e desperdícios no setor, a sua importância econômica e social para o país, a questão da qualidade dentro do setor e, finalmente, fará uma breve caracterização do subsetor de edificações.

O terceiro capítulo dará uma panorâmica sobre a geração dos RCDs no Brasil e no mundo e os impactos causados pelo mesmo, mostrará os caminhos para a reciclagem dos RCDs, tratará das normas relacionadas ao tema e, por fim, abordará sobre as usinas de reciclagem e os equipamentos utilizados para o beneficiamento dos resíduos.

O quarto capítulo tratará do programa experimental, com a descrição dos diversos tipos de ensaios e a metodologia empregada para a execução dos mesmos.

O quinto capítulo tratará da apresentação, da análise e discussão dos resultados obtidos no programa experimental.

No sexto e último capítulo serão apresentadas às conclusões finais e sugestões para prosseguimento dos estudos envolvendo o tema em questão.

2 ALGUNS ASPECTOS RELACIONADOS À CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 PERDAS E DESPERDÍCIOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL - VISÃO GERAL

O tema perdas e desperdícios na construção civil é um assunto que tem merecido a atenção de muitos pesquisadores no Brasil nos últimos anos. Isto porque a determinação das perdas na construção civil não são tão fáceis de identificar como em outros setores e, assim, vários estudos têm sido realizados no sentido de se chegar a números que possam servir como parâmetros para o setor.

A partir da década de 80 começaram a surgir algumas pesquisas e reportagens sobre o assunto e um índice ficou muito ligado ao setor como sendo um referencial (negativo) para as perdas da construção no Brasil. Os estudos apontavam para perdas em torno de 30% na construção civil.

Esse índice ficou marcado durante um bom período como sendo um referencial para as perdas e desperdícios praticados pelo setor. Realmente, as pesquisas mais recentes sobre o assunto chegam a valores bem próximos a este, dependendo da metodologia ou referenciais adotados.

Mas, ao mesmo tempo, os estudos irão reforçar a idéia de que para o setor não é possível se chegar a um número que represente um denominador comum em relação às perdas e desperdícios praticados.

Isto ocorre, devido ao fato da construção civil possuir características particulares, como uma complexa cadeia produtiva, com uma grande variedade de serviços e atividades; insumos e agentes envolvidos; uma grande quantidade de fornecedores dentro do processo; e uma grande variedade de produtos (obras) etc., propiciando uma variabilidade nos números, dependendo da metodologia/referencial empregado na pesquisa.

A questão do referencial utilizado na hora de se levantar os índices é de grande importância. De acordo com CEOTTO (1995), existem três tipos de referenciais que podem ser tomados. O primeiro é a média do setor, o segundo, o projeto, e o terceiro, o consumo ideal.

Nessa questão, quando o referencial for a média do setor, uma empresa que consumir menos insumos que a média, teoricamente não teria desperdícios. Esse referencial pode levar a conclusões precipitadas e erradas em relação à determinada empresa quando a média adotada for alta.

No caso do referencial ser o projeto, tudo o que for consumido acima do previsto no orçamento, será considerado desperdício. Neste caso, apesar de parecer uma posição coerente, no caso de projetos mal dimensionados, as perdas já estariam embutidas no mesmo.

A terceira opção baseia-se na adoção de um determinado padrão de consumo do mercado para determinada tecnologia de construção, chamado consumo ideal. É uma alternativa difícil de ser adotada em função de que havendo mudança na tecnologia o padrão ideal também deveria ser alterado.

Das três alternativas, a que parece ser a mais técnica e fácil de trabalhar é a do projeto. Para isso deve-se tomar um cuidado maior na hora da elaboração do mesmo.

PICCHI (1995), outro estudioso do assunto, alega que a variedade em torno dos números relacionados às perdas se dá devido ao uso de diferentes conceitos e metodologias na sua mensuração. O autor defende a necessidade de uma terminologia que represente com clareza as bases utilizadas na obtenção dos números relativos às perdas, para que com isso a construção civil possa evoluir no país.

Outro fato que é levantado por SCHUCHOVSKI (1995), é a diferenciação entre perda e desperdício. Segundo o autor, as perdas (materiais, tempo etc) decorrem de diversos fatores, inclusive do desperdício. Ele considera que somente 3,5% (em relação ao custo final da obra) podem ser considerados desperdícios e que as perdas estariam em torno de 30%.

MESEGUER (1991) considera que o processo de construção envolve cinco etapas principais: Planejamento, Projeto, Materiais, Execução e Uso-manutenção.

Segundo diversos autores, CUNHA (1987); PICCHI (1995); SOUZA et al. (1995); FREITAS (1995) entre outros, as perdas podem acontecer em todas as etapas do processo e, desse modo, podem acontecer diferentes tipos de abordagem, dependendo do usuário da informação, ou seja, ao construtor podem interessar as perdas durante a etapa de execução, ao passo que perdas relacionadas aos recursos naturais podem ser de muita importância para órgãos ligados ao meio ambiente ou até mesmo para o setor da construção como um todo.

Assim sendo, as perdas podem ser estudadas de uma maneira mais global (duas ou mais etapas), ou de uma forma mais restrita (apenas uma etapa), dependendo do interesse do usuário.

Diversas pesquisas têm abordado a questão das perdas e desperdícios na construção civil. A **Tabela 2.1** mostra o estudo realizado pelo ITQC, Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade na Construção Civil, com recursos da FINEP, Financiadora de Estudos e Projetos, e tendo a participação de 16 universidades brasileiras onde foi estudado o fluxo de materiais em 99 canteiros de obras (SOUZA et al., 1998).

A tabela mostra, também, os resultados alcançados por SOIBELMAN (1993), em trabalho realizado em cinco obras, para fins de comparação.

TABELA 2.1. – Perda de materiais em processos construtivos convencionais conforme pesquisa realizada em 12 estados

Soibelman(1)	FINEP/ITQC(2)				
13%	9%				
19%	10%				
52%	17%				
83%	95%				
-	97%				
44%	76%				
	19% 52%				

- (1) Média de cinco obras (SOIBELMAN, 1993)
- (2) Média de diversos canteiros (SOUZA et al., 1998)

Fonte: Modificado de PINTO (1999)

É possível perceber pelos dados acima que existe uma grande variabilidade nos valores apresentados para cada material em cada uma das pesquisas. Isso vem reforçar mais uma vez, a dificuldade de se chegar a valores que sejam referenciais para o setor.

Um outro estudo realizado por PICCHI (1993), pesquisou, entre 1986 e 1987, as perdas ocorridas em três construções residenciais, onde quantificou os resíduos retirados das obras. Os resultados apresentados na **Tabela 2.2** não levam em conta os desperdícios de materiais incorporados às construções.

TABELA 2.2 – Resultados de pesquisas de desperdício de materiais em três construções residenciais (PICCHI, 1993)

Obra	Área	Duração da obra	Volume de	Massa do	Perdas
	construída (m²)	(meses)	entulho (m³)	entulho (ton/m²)	(% em massa)
Α	7.619	17	605,50	0,095	11,20
В	7.982	15	707,70	0,107	12,60
С	13.581	16	1.645,00	0,145	17,10

^{1 -} massa específica do entulho (adotada) = 1,2 t/m3

Fonte: LIMA (1999)

Pode-se verificar que as perdas de materiais estão na faixa dos 10%, com exceção da terceira obra, cujo resultado apresentado foi bem superior (17%). Vale lembrar novamente, que nesses números não entram as perdas incorporadas às obras, que, segundo alguns autores, representam outros 10%.

Um desses autores foi PINTO (1989), que levantou o desperdício de materiais em uma obra com aproximadamente 3650 m², chegando a conclusão que 20% do material (em massa) empregado foi desperdiçado, metade em forma de entulho e metade incorporado à obra. A metodologia empregada foi a de comparar a massa estimada da obra com a massa dos materiais adquiridos para a construção da mesma.

Os dados estão apresentados na Tabela 2.3.

^{2 -} massa final do edificio (adotada) = 0,85 t/m3.

^{3 -} Perdas = massa de entulho / massa projetada do edifício

TABELA 2.3 – Índices de perdas verificados na construção de um edifício (PINTO, 1989)

	Desperdício (% em massa)			
Material	Real	Usual		
Aço	26,19	20,00		
Areia	39,02	15,00		
Argamassa colante	86,68	10,00		
Azulejos	9,55	10,00		
Cal Hidratada	101,94	15,00		
Cerâmica de piso	7,32	10,00		
Cimento	33,11	15,00		
Concreto usinado	1,34	5,00		
Componentes de vedação	12,73	5,00		
Madeiras em geral	47,75	15,00		

Fonte: LIMA (1999)

A coluna 3 (usual) representa os índices de desperdício empregados nos cálculos das quantidades de materiais a serem comprados, e a coluna 2 (real), aos índices de desperdícios verificados na execução da obra (entulho e material incorporado à obra).

Outra pesquisa realizada por FRANCHI et al. (1993), traz o levantamento feito em cinco empreendimentos (**Tabela 2.4**) num período aproximado de cinco meses em empresas construtoras de pequeno porte, em obras com estrutura convencional em concreto armado. O desperdício total leva em consideração a soma do entulho mais o material incorporado à obra (**Tabela 2.5**).

TABELA 2.4 – Obras estudadas para levantamento de perdas de materiais (FRANCHI et al.,1993)

Obra	Α	В	С	D	E
Tipo	Resid.	Comerc.	Resid.	Resid.	Resid.
Número de pavimentos	11	10	5	12	8
Área dos pavimentos aprox.(m²)	253	328	294	393	298
Área total construída (m²)	2.997	6.474	1.216	5.148	2.715

Fonte: LIMA (1999)

TABELA 2.5 – Resultados de pesquisas de perdas de materiais (FRANCHI et al., 1993)

Material	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	Índice de perdas (% em massa)					
	Α	В	С	D	E	Média	
Aço	18,80	27,30	23,01	7,91	18,31	19,07	
Areia	27,09	29,73	21,05	109,81	42,19	45,76	
Argamassa	103,05	87,50	40,38	152,10	73,24	91,25	
Cimento	76,60	45,20	34,31	151,86	112,70	84,13	
Concreto pré-misturado	10,80	11,77	17,44	0,80	25,16	13,19	
Tijolos furados	39,80	8,20	35,96	26,50	-	27,64	
Tijolos maciços	45,25	15,23	20,02	27,28	-	26,94	

Fonte: LIMA (1999)

A diferença observada nos números ocorre, segundo os autores, devido a diferenças de gerenciamento das obras, procedimentos em relação à estocagem dos materiais e manuseio dos mesmos e devido a características próprias das mesmas.

Em relação ao impacto que o desperdício provoca no custo da construção civil no Brasil, estudos apontam que os mesmos poderiam provocar acréscimos entre 5 e 10%, aproximadamente, no custo final de um empreendimento.

A **Tabela 2.6** mostra dois destes estudos.

TABELA 2.6. – Impacto do desperdício de materiais no custo da construção civil brasileira

PINTO/UFSCar (1989)	6%
NORIE/UFRGS (1993)	5% a 11,6%

Fonte: ZORDAN (1997)

FORMOSO et al. (1993), calcularam que as perdas poderiam provocar um acréscimo de aproximadamente 8% (valor médio) no custo final de um empreendimento.

Estes números vêm reforçar a necessidade de se buscar melhorias nos procedimentos construtivos no Brasil, principalmente nas pequenas e médias empresas, como forma de se manterem competitivas no mercado.

2.2 A CONSTRUÃO CIVIL E SUA IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E SOCIAL

No Brasil, a indústria da Constrição Civil tem uma participação muito importante na economia, sendo responsável por uma parcela significativa de tudo o que é produzido no país.

Em 1999, segundo dados do IBGE, o setor respondeu por 10,26% do PIB, superando várias outras atividades importantes, inclusive a agropecuária, que vem crescendo muito nos últimos anos.

A **Figura 2.1** mostra a evolução da participação da indústria da Construção Civil no PIB brasileiro desde a década de 70 até o final da década de 90.

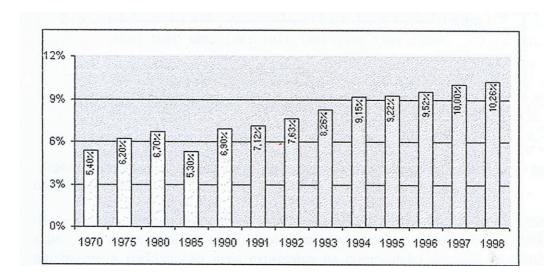


Figura 2.1. – Evolução da participação relativa da construção civil no PIB brasileiro

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisa, Departamento de Contas Nacionais (IBGE, 2000)

O Construbusiness, que compreende o setor de construção, o de materiais de construção e o de serviços acoplados à construção, é responsável por 15,6% do PIB do país. O setor de construção civil engloba o subsetor de edificações e a construção pesada, sendo que a construção de edificações representa uma parcela entre 6% e 9% do PIB nacional. A **Figura 2.2** apresenta esta situação.



Figura 2.2. – Participação, em Porcentagem, do PIB Nacional, dos subsetores do Construbusiness

Fonte: Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial – Estudo Prospectivo da Cadeia Produtiva da Construção Civil – Volume 1 - Diagnóstico

Alem da sua importância econômica, a construção civil possui, também, grande importância social, visto que é responsável pela contratação de uma parcela

considerável de mão-de-obra de baixa qualificação, atendendo a uma camada da população menos favorecida.

Possui, também, uma posição estratégica na geração de empregos, uma vez que para gerar um posto de trabalho não há a necessidade de grandes investimentos se comparado com outros setores industriais.

A **Figura 2.3** mostra a população ocupada pelo setor e a participação relativa da construção civil na população ocupada brasileira. Segundo esses dados o número de pessoas ocupadas pelo setor era de 3,63 milhões, em 1998, representando 6,1% do total do pessoal ocupado no período.

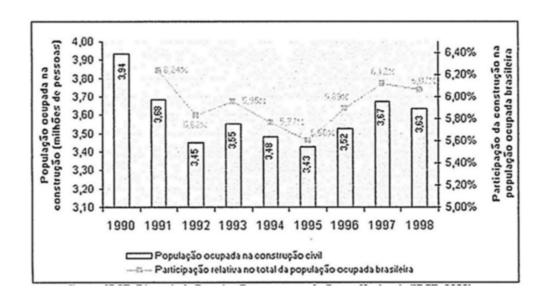


Figura 2.3. População ocupada na construção civil e participação relativa do setor na população ocupada brasileira

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisa, Departamento de Contas Nacionais (IBGE, 2000)

O Construbusiness possui um efeito multiplicador pelo encadeamento – para trás e para frente - com outros setores da economia, A **Figura 2.4** mostra esses dados, onde se pode notar que, em 1995, a construção civil provocava um encadeamento a montante de R\$ 48,05 bilhões, ficando em quarto lugar neste encadeamento, em comparação com outros setores da economia. Em 2001, este valor saltou para R\$ 55,05 bilhões.

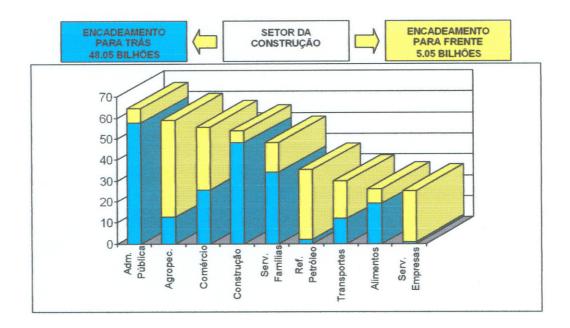


Figura 2.4. – Encadeamento dos principais setores da economia brasileira

Fonte: Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial – Estudo Prospectivo da Cadeia Produtiva da Construção Civil – Volume 1 - Diagnóstico

Entre o período de 1980 a 1996, a construção civil foi responsável por 65% da formação do investimento bruto nacional, superando em muito a participação de máquinas e equipamentos, que teve média de 29%. Em 1999, o setor já representava mais de 70% do investimento da economia brasileira, como mostra a **Figura 2.5.**

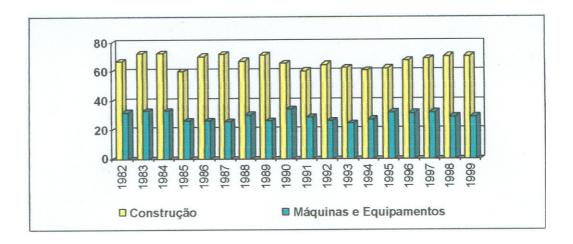


Figura 2.5. – Formação de investimento bruto – Brasil (%)

Fonte: Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial – Estudo Prospectivo da Cadeia Produtiva da Construção Civil – Volume 1 - Diagnóstico

Alem do fato de poder gerar um grande número de empregos, a construção civil tem uma importância fundamental para a redução do enorme déficit habitacional existente nos pais.. A **Figura 2.6** mostra a situação do déficit habitacional a partir da década de 80.

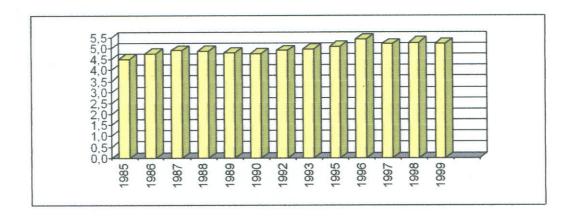


Figura 2.6. – Déficit Habitacional – Brasil (milhões de pessoas)

Fonte: Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial – Estudo Prospectivo da Cadeia Produtiva da Construção Civil – Volume 1 - Diagnóstico

A tendência da construção civil nos próximos anos é ter um crescimento considerável, pois existe um consenso nacional da necessidade de investimentos em infra-estrutura, com a recuperação e construção de novas rodovias, portos, aeroportos, hidrelétricas etc. Para que o país possa crescer a uma taxa entre 3 e 4% ao ano (que é uma meta desejada) é imprescindível o investimento nestes setores, para que não ocorram gargalos no meio do caminho.

2.3 A CONSTRUÇÃO CIVIL E A QUALIDADE

Diversas conceituações têm sido empregadas para definir o termo qualidade, desde "conformidade com requisitos" - CROSBY apud AMBROZEWICZ (2001), ou "adequação ao uso" – JURAN; GRYNA apud AMBROZEWICZ (2001), até enfoques mais amplos como de ISHIKAWA apud AMBROZEWICZ (2001), que levam em conta a economia do processo produtivo.

A preocupação com a qualidade começou em outros setores da economia, principalmente na indústria de transformação (mecânica, eletrônica etc.), onde a

competitividade sempre foi bem mais acirrada – com grandes multinacionais no mercado – fazendo com que as empresas estivessem sempre procurando novos caminhos, visando uma melhoria contínua. Dentro deste contexto, começaram a surgir conceitos e teorias que mais tarde nos levariam aos sistemas de gestão da qualidade.

A indústria da construção civil, subsetor edificações, por suas características peculiares, já comentadas anteriormente, sempre apresentou certa defasagem, no que diz respeito à qualidade, em relação a estes outros setores da economia.

Apesar da sua importância, a mesma ainda apresenta índices abaixo da expectativa quando se fala em qualidade, como um alto índice de perdas e desperdícios, baixa produtividade, condições de trabalho desfavoráveis, elevado índice de patologias, elevado número de acidentes no trabalho etc.

Uma das razões para a baixa qualidade e produtividade no setor passa pela qualificação da mão-de-obra, e com relação a este fato alguns aspectos conjunturais e até mesmo culturais têm dificultado ações que possam melhorar esses números.

No Brasil, há uma predominância no setor de pequenas e médias empresas, onde ocorre uma carência de recursos (pouco capital de giro) para investimentos em ações que resultem numa melhoria da qualidade e produtividade, como treinamentos de pessoal, cursos de aperfeiçoamento, atualização e reciclagem, melhorias nas condições de trabalho e, fundamentalmente, melhorias nos processos de gestão.

A maioria das empresas não consegue ou não quer correr o risco de obter créditos junto a instituições financeiras devido às altas taxas de juros praticadas, o que dificulta a implantação de políticas voltadas para a melhoria da qualidade.

Existe, também, uma parcela do empresariado que ainda tem uma grande resistência quando se fala em qualificação de pessoal. Para eles, como no setor há uma grande rotatividade da mão-de-obra, o treinamento não traria grandes benefícios. Na cabeça deste empresário ocorre o seguinte pensamento: eu vou estar treinando um empregado hoje para amanhã o mesmo estar trabalhando para um concorrente. E isso forma um círculo vicioso. Mudanças de postura têm acontecido,

mas ainda de uma forma um pouco lenta.

Por outro lado, o empregado muitas vezes não tem interesse em participar destas atividades, seja por falta de informação, de motivação, de conscientização ou, até mesmo, devido a horários mal programados para a realização das mesmas, como por exemplo, após a jornada de trabalho.

Alguns números comprovam essa situação. Diversas pesquisas mostram que mais de 60% dos empregados do setor tinham estudado até a quarta série do 1º grau; que a rotatividade está entre 55 e 60%, com trabalhadores com menos de um ano de carteira assinada.

Apesar deste quadro, a construção civil brasileira possui, em determinadas áreas, grande capacidade tecnológica, estando em condições de igualdade em relação aos grandes centros mundiais. Este fato ocorre, principalmente, em obras de infra-estrutura, quando na década de 70, na época do "Milagre Econômico", grandes obras de engenharia foram executadas no Brasil, surgindo, paralelamente, grandes empresas construtoras. Com o desaquecimento da economia nas décadas seguintes, essas empresas foram obrigadas a buscar novos mercados — mais competitivos - e, para isso, tiveram que implementar melhorias nos seus processos empresariais. Isso fez com que elas alcançassem um patamar superior às demais em relação à qualidade. Hoje, o país exporta esse tipo de tecnologia, executando obras em diversos países, tendo reconhecimento internacional.

Outros bons exemplos têm acontecido em setores ligados à cadeia produtiva da construção civil, como é o caso da indústria de tintas, tubos e conexões de pvc e cerâmica para revestimento, onde o estágio tecnológico alcançado tem permitido a estes seguimentos a disputa pelo mercado externo em igualdade de condições com países mais desenvolvidos.

No Brasil, algumas ações têm sido realizadas visando o desenvolvimento do setor. Dentre essas, vale ressaltar "O Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade na Construção e no Habitat, uma parceria do governo federal com diversas entidades representativas, que objetiva proporcionar ganhos de eficiência ao longo de toda a cadeia produtiva, por meio de projetos específicos para a

qualificação de empresas projetistas e construtoras, produção de materiais e componentes em conformidade com as normas técnicas, formação e requalificação de recursos humanos, aperfeiçoamento da normalização técnica e melhoria da qualidade de laboratórios".

Inserido no Programa está o SIQ-CONSTRUTORAS, que tem como finalidade implantar nas empresas, o sistema de qualificação evolutiva de empresas, serviços e obras.

O sistema prevê 4 níveis de qualificação e para se obter a qualificação em determinado nível a empresa deverá desenvolver procedimentos e treinado pessoal visando atingir, pelo menos, as porcentagens mínimas estabelecidas para os itens serviços e materiais, conforme mostrado na **Tabela 2.7**, gerando registros de, no mínimo, 50% desses casos.

Tabela 2.7. – Sistema evolutivo

NÍVEIS	MATERIAIS	MATERIAIS	MÍNIMO	SERVIÇOS	SERVIÇOS	MÍNIMO
MIVEIS	(%)	(QUANT.)	50%	(%)	(QUANT.)	50%
D	-	-	-	=	=	=
С	20%	6	3	15%	4	2
В	50%	15	8	40%	10	5
Α	100%	30	15	100%	25	13

Fonte: Ambrozewicz (2001)

Obs.: (*) Nível D – trata de assuntos internos da empresa.

Para o item serviços, a SIQ-CONSTRUTORAS estabeleceu uma lista contendo 25 itens, e para o item materiais foi elaborada uma lista com trinta itens, que devem ter relação com os 25 serviços.

O PBQP-H, por estar estruturado a nível nacional, pode ser uma grande fonte de informações para empresas construtoras que desejem implantar sistemas de gestão da qualidade. O PBQP-H certamente tem contribuído em muito para toda a cadeia produtiva da construção civil, sendo um referencial para o setor.

2.4 A CARACTERIZAÇÃO DO SUBSETOR DE EDIFICAÇÕES

De acordo com SILVA NETO (1998) a construção civil (subsetor edificações) possui as seguintes atividades:

- Construções de edifícios residenciais, comerciais, industriais ou institucionais;
- Construção de parte do processo construtivo (especialização), como por exemplo, execução de fundações ou instalações;
- Execução de serviços complementares à edificação;
- Reformas.

Segundo VARGAS (1984) apud SILVA NETO (1998), o setor possui, dentre outras características, um perfil eminentemente manufatureiro, onde é predominante a presença humana no processo construtivo, apesar de existir dentro desse processo a presença de produtos industrializados, como materiais diretos (cimentos, tijolos, etc.), materiais componentes (material elétrico, hidráulico etc.), ou complementos industriais (guinchos, betoneiras etc.).

Ainda segundo o mesmo autor, o setor possui mão-de-obra pouco qualificada, com baixa capacidade de compreensão de projetos (desenhos); o conhecimento geralmente é transmitido de forma oral, sem nenhuma técnica pedagógica, o que provoca a transferência de deficiências e vícios; a ascensão profissional é bastante limitada e existe uma grande rotatividade de mão-de-obra; possui, ainda, uma estrutura paternalista e coercitiva, com uma grande concentração de poder nas mãos dos mestres, que impõe sua autoridade de uma forma aleatória; finalmente, o setor possui uma característica "nômade", onde, de tempos em tempos, ocorre a mudança do local de produção (canteiro), o que impossibilita o estabelecimento de um fluxo contínuo de produção.

A construção civil possui uma cadeia produtiva bastante complexa e heterogênea, com uma grande variedade de agentes intervenientes e de produtos parciais fabricados ao longo do processo produtivo, com diferentes níveis de qualidade, que irão influir na qualidade do produto final.

De acordo com SOUZA (1995), pode-se citar como principais agentes:

usuários - variam de acordo com o poder aquisitivo, as regiões do país e a especificidade das obras (habitações, escolas, prédios comerciais, hospitais etc); fabricantes de materiais de construção - representados pelos segmentos industriais produtores de insumos, envolvendo: a extração e o beneficiamento de minerais, a indústria de produtos minerais não metálicos (cerâmica, vidro, cimento, cal), de aço para construção e outros produtos metalúrgicos, de condutores elétricos, da madeira, de produtos químicos; e de plásticos para a construção; agentes responsáveis pelo planejamento do empreendimento – podem ser agentes financeiros e promotores, órgãos públicos, clientes privados e incorporadores, além dos órgãos legais e normativos envolvidos, dependendo do tipo de obra a ser construída; agentes responsáveis pela etapa de projeto – empresas responsáveis pelos estudos preliminares (sondagens, topografia, demografia etc), urbanistas, arquitetos, calculistas, projetistas de instalações e redes de infra-estrutura, alem dos órgãos públicos ou privados, responsáveis pela coordenação do projeto; agentes envolvidos na etapa de execução das obras - construtoras, subempreiteiros, profissionais autônomos, laboratórios, empresas gerenciadoras e órgãos públicos ou privados, responsáveis pelo controle e fiscalização da obras; e agentes responsáveis pela operação e manutenção das obras - proprietários, usuários e empresas especializadas.

Na construção civil, tem-se a produção centralizada (operários móveis em torno de um produto fixo), diferentemente da maioria das indústrias, onde ocorre a produção em cadeia (produtos passando por operários fixos); é uma indústria tradicional, resistente à mudanças; o produto é único e complexo; trabalha-se muitas vezes em condições extremamente desfavoráveis — até mesmo climáticas - ; o grau de precisão com que se trabalha é, em geral, menor do que em outras indústrias, ex.: orçamentos, prazos de execução etc; e as especificações são complexas e muitas vezes confusas.

Todas estas características vêm reforçar a dificuldade de se ter na construção civil, números que sejam referenciais para o setor, como índices de produtividade e desperdícios, por exemplo. Entretanto, com a modernização do setor, muitos serviços que hoje são realizados nos canteiros de obras, passarão a ser executados através de firmas especializadas, como na área de pré-moldados, de armação de

ferros etc, o que ocasionará uma mudança no perfil artesanal do setor, transformando-o realmente em uma indústria, com a fabricação de grande parte da produção através do sistema serial. Isto trará enormes ganhos de produtividade e redução de desperdícios, tendo como conseqüência a melhoria da qualidade.

3 OS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Este capítulo tratará de questões relacionadas aos RCDs, tais como: a geração de resíduos e os impactos causados, os processos de reciclagem, as usinas de beneficiamento, os equipamentos para beneficiamento e as recomendações normativas.

3.1 A GERAÇÃO DE RESÍDUOS E OS IMPACTOS CAUSADOS

Os números a respeito da geração de RCDs no Brasil e no mundo possuem uma grande variabilidade, devido a diversos fatores, dentre eles, o emprego de diferentes metodologias/métodos de levantamento dos mesmos, ou seja, há uma falta de padronização nos levantamentos.

Só para ilustrar esta situação, PINTO (1999), chegou a um número que relaciona o metro quadrado construído com a geração de resíduo. De acordo com o autor, cada metro quadrado construído gera cerca de 150Kg de resíduos. Este valor foi denominado de "taxa de geração de resíduos de construção". A **Tabelas 3.1 e 3.2** apresentam os resultados deste estudo.

Tabela 3.1 - Estimativa da geração de RCD por novas edificações formais nos municípios brasileiros

	MUNICÍPIOS					
INFORMAÇÕES (1)	SANTO	SÃO JOSÉ	SÃO JOSÉ	RIBEIRÃO	JUNDIAÍ	VITÓRIA DA
iii OliiiAyOLO(i)	ANDRÉ (93/96)	R. PRETO (93/96)	CAMPOS (93/95)	PRETO (93/95)	(93/96)	CONQUISTA (95/97)
PROVÁVEL ÁREA FORMAL CONSTRUÍDA (1.000 m²/ano)	992.88	507.16	418.56	1.199.78	756.84	118.00
TAXA DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS (Kg/m²)	150	150	150	150	150	150
PROVÁVEL GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM EDIFICAÇÕES FORMAIS (t/ano)	148,932	76,075	62,784	176,967	113,525	17,670
PROVÁVEL GERAÇÃO DE RESÍDUOS EM EDIFICAÇÕES FORMAIS (t/dia) (2)	477	244	201	577	364	57

(PINTO, 1999)

- (1) Fontes conforme tabela 3.2
- (2) Considerados 26 dias/mês

Tabela 3.2. Informações básicas sobre os municípios pesquisados (PINTO, 1999)

MUNICÍPIOS	POPULAÇÃO	ANO DE	DOCUMENTO DE
MONICIFIOS	(referência)	PESQUISA	REFERÊNCIA
SÃO JOSÉ DOS CAMPOS /			SÃO JOSÉ DOS CAMPOS,
SP	486.467 (95)	1995	1995a
RIBEIRÃO PRETO / SP	456.252 (95)	1995	RIBEIRÃO PRETO, 1995a
SÃO JOSÉ DO RIO PRETO /			SÃO JOSÉ DO RIO PRETO,
SP	323.627 (96)	1997	1997a
JUNDIAÍ / SP	293.373 (96)	1997	JUNDIAÍ, 1997a
SANTO ANDRÉ / SP	625.564 (96)	1977	SANTO ANDRÉ, 1997a
VITÓRIA DA CONQUISTA /			VITÓRIA DA CONQUISTA,
ВА	242.155 (96)	1998	1998a

Já AGOPYAN et al. (2001), determinaram que a geração do entulho de obras de construção é de aproximadamente 50Kg/m2.

Esta variação nos valores ocorre devido a diferentes referenciais adotados.

No estudo de PINTO, o valor encontrado refere-se a construções, demolições e reformas, tanto de construções formais quanto das informais. Já no estudo de AGOPYAN et al., o número refere-se somente ao entulho gerado em decorrência da construção de edifícios.

Ainda de acordo com PINTO(1997), os RCDs correspondem a 2/3 da massa total de resíduos coletados em cidades de médio e grande porte. Outro dado levantado pelo autor diz que 2/3 dos resíduos são recolhidos por empresas privadas e 1/3 pelas administrações públicas (**Tabelas 3.3 e 3.4**).

Tabela 3.3 – Composição típica dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1997)

Tipos de resíduos	% em
	massa
Resíduos de construção recolhidos por empresas	45
Resíduos de construção recolhidos pela administração pública	22
Resíduos domiciliares recolhidos pela adm. pública ou empreiteiras	33

Tabela 3.4 – Geração de resíduos de construção em alguns municípios brasileiros (t/hab.ano)

Município	Fonte	(t/hab.ano)
Belo Horizonte/MG	SLU-1993	0,09
Ribeirão Preto/SP	I&T-1995	0,52
São José dos Campos/SP	I&T-1995	0,43
Jundiaí/SP	I&T-1997 ¹	0,63
São José do Rio Preto/SP	1&T-1997 ¹	0,60
Santo André/SP	1&T-1997 ¹	0,55

Segundo LIMA e TAMAI (1998, apud CARNEIRO et al., 2001), a maior parte do entulho gerado vem do setor informal (pequenas reformas, construção formiga etc) e apenas 1/3 é gerado pelo setor formal, ou seja, nas obras realizadas pela indústria da construção.

De acordo com JOHN (1998), a geração de resíduos sólidos provenientes da construção civil, pode ser até duas vezes maior que o volume de lixo urbano gerado.

O mesmo autor estima que o setor consome cerca de 210 milhões de toneladas/ano de agregados naturais, somente para a produção de concretos e argamassas (JOHN, 2000).

Os resíduos de construção podem ter diversas origens. Segundo LEVY (1997), eles podem ser provenientes de:

- Deficiências inerentes aos processos e sistemas construtivos empregados;
- Demolições em geral;
- Catástrofes naturais ou artificiais (terremotos, incêndios etc).

Na Turquia (1992) um terremoto destruiu cerca de 6500 habitações, provocando resíduos da ordem de 1 milhão de toneladas.

Em Kobe, Japão (1995), um terremoto gerou cerca de 11 milhões de toneladas de resíduos de construção.

Los Angeles presenciou um dos maiores terremotos registrados. Em Janeiro de 1995 ocorreu o grande Hanshin-Awaji, que provocou a destruição de milhares de edificações, de rodovias, ferrovias e portos. Calcula-se que foram gerados cerca de 20 milhões de toneladas de resíduos.

Outra grande fonte de geração de entulho são as guerras. Diversos paises tiveram suas edificações transformadas em pó devido a conflitos intensos em seus territórios. No Líbano, em 1995, na cidade de Beirute, a quantidade de resíduos chegava perto de 20 milhões de toneladas.

No mundo, acredita-se que são gerados anualmente entre 2 e 3 bilhões de toneladas de RCDs (TORRING, 1998; LAURITZEN,1998).

Somente na Comunidade Européia são gerados anualmente um total de 480 milhões de toneladas de resíduos inertes, sendo que destes, 180 milhões correspondem a RCDs, ou seja, 0,5 ton./hab.ano. Destes, somente 50 milhões de toneladas (28%) são reaproveitados, o restante é incinerado e depositado em aterros (DORSTHORST e HENDRIKS, 2000).

Nos EUA são produzidos cerca de 31,5 milhões de toneladas de resíduos por ano, ou seja, 25% de todo o resíduo produzido (PENG et al., 1997).

Na Alemanha são gerados 33 milhões de toneladas/ano (RUCH et al., 1997b). Somente na região leste da Alemanha são produzidos 3 milhões de toneladas, para uma população de 2,5 milhões de habitantes (MÜELLER e WINKLER, 1998).

Na França são produzidos entre 20 e 25 milhões (BOILEAU, 1997) de resíduos por ano, o que equivale a 50% de todo o resíduo sólido gerado.

Na Holanda foram produzidos 15 milhões de toneladas de resíduos em 1996, ou 1 ton./hab. ao ano (PIETERSEN et al., 1998; LOO, 1998; VAN DER WEGEN e HAVERKORT, 1998; HENDRIS et al., 1998).

No Japão, somente na cidade de Hong Kong foram gerados 22.000 toneladas diárias de resíduos de construção em 1991 (POON, 1997).

Esses números vêm reforçar a necessidade de se promover políticas que venham facilitar a prática de reaproveitamento desses materiais. O uso do entulho através do seu beneficiamento gera enormes benefícios tanto para a população quanto para o meio ambiente.

O impacto causado pela geração de RCDs vem desde a poluição ambiental até a proliferação de doenças. A deposição irregular desses materiais causa transtornos dos mais diversos, como obstrução de calçadas e vias de rolamento, obstrução de córregos e canais, prejudicando os sistemas de drenagem e facilitando o surgimento de enchentes.

Tudo isso vem provocar uma queda no nível de qualidade de vida da população e comprometimento da qualidade ambiental, com danos muitas vezes irreparáveis.

Alguns prejuízos, apesar de cotidianas e freqüentes, são difíceis de serem quantificados ao nível de custo para a população e para o estado, como por exemplo, perdas de tempo ou gasto excessivo de combustíveis em função de retenções causadas por deposições irregulares desses entulhos.

Outro fato em relação à deposição irregular de RCDs é que os mesmos criam um ambiente propício para a proliferação de vetores prejudiciais à saúde humana e às condições de saneamento. Um levantamento realizado pela Coordenadoria de Vigilância Epidemiológica da Secretaria de Higiene e saúde da Prefeitura Municipal de São José do Rio Preto/SP, mostra a relação direta entre o aparecimento desses vetores e as áreas de depósitos de RCDs (**tabela 3.5**).

Tabela 3.5. – Distribuição da ocorrência de vetores em áreas com descarte de RCDs em São José do Rio Preto – 1996 (1)

VETORES	PARTICIPÇÃO
Pulgas, Carrapatos, Piolhos,	
Percevejos	51.3%
Escorpiões	25.7%
Ratos	9.5%
Baratas	8.1%
Moscas	5.4%

(1) São José do Rio Preto, 1997a

Neste caso, seria importante uma participação mais enérgica por parte do "Estado", no sentido de proibir e punir os responsáveis por estes atos, como ocorre em outros países.

No Reino Unido, por exemplo, existem leis que punem os responsáveis pela deposição irregular de resíduos no meio-ambiente, através da cobrança de taxas elevadas. Na Inglaterra, há uma cobrança de taxa por parte do Estado, para toda construtora, em cima de todo o resíduo gerado na obra; há uma preocupação com o desperdício, mas, principalmente, com o impacto causado pelo mesmo no meio ambiente.

Na Holanda, devido a existência de leis severas, cerca de 80% dos resíduos são reciclados (DE VRIES, 1993 e KILBERT, & CHINI, 2000).

No Japão, segundo TOALDO (1993), os construtores são obrigados a incluir em seus projetos o destino final de seus resíduos.

Na Noruega, os geradores de resíduos devem pagar pelos custos de reabilitação do meio ambiente.

A geração de resíduos e os impactos que eles provocam, é um problema de toda a sociedade e, portanto, deve haver uma participação de todos no sentido de se cobrar ações dos governos e empresas envolvidas, visando melhorar o nível de qualidade de vida de toda a população.

3.2 A RECICLAGEM DE RESÍDUOS

Como forma de combater os problemas causados pela geração de resíduos, a reciclagem aparece como a solução mais adotada em vários países há algum tempo. No Brasil, só mais recentemente essa prática começou a ser implementada, mesmo assim de forma isolada por alguns municípios.

A reciclagem de resíduos envolve todo um processo de beneficiamento do mesmo. Porém, até se chegar ao beneficiamento, algumas outras etapas devem ser analisadas para se tomar uma decisão em relação à viabilidade do projeto. Essas etapas incluem a forma de coleta desses resíduos (captação), o transporte e a estocagem dos mesmos. Deve ser feito um estudo criterioso dos possíveis pontos de coleta na região onde for implantado o sistema, a forma como o material será transportado até o local de estocagem e, finalmente, definir uma região apropriada para a implantação da usina de reciclagem.

Alem disso, é importante identificar as áreas onde existe uma maior concentração de descartes clandestinos, fazendo um mapeamento dessas regiões.

O local de implantação da usina tem um papel fundamental para o sucesso do programa. O ideal é que as usinas fiquem o mais próximo possível das fontes geradoras e dos locais de uso, ou seja, inseridas no contexto urbano (LIMA, 1999).

Todos esses procedimentos fazem parte da chamada **Gestão Diferenciada** de RCDs.

Um exemplo de gestão diferenciada aconteceu em Belo Horizonte, onde foi criado, em 1993, sob a coordenação do Arq. Tarcísio de Paula Pinto, o Programa de

Correção Ambiental e Reciclagem dos Resíduos de Construção. Nele, programaram-se ações específicas para captação, reciclagem, informação ambiental e recuperação de áreas degradadas. Definiu-se, também, a necessidade de 4 centrais de reciclagem, com o processo de implantação iniciado no final de 1995.

Foram criadas as chamadas unidades de recebimento de pequenos volumes (**tabela 3.6**), onde existe a presença de um funcionário controlador, que orienta os coletores informais, a maioria carroceiros.

Tabela 3.6. Unidades de recebimento de pequenos volumes em Belo Horizonte/MG

UNIDADE DE RECEBIMENTO (1)	BARÃO 300	BARRAGEM Sta Lúcia	SARAMENHA	ANDRADAS	TOTAL
VOLUME MÉDIO MENSAL RECEBIDO (m³)	240	30	210	329	809
MÉDIAS DE VIAGENS MENSAIS RECEBIDAS (unid)	596	77	648	528	1849
CARROCEIROS NUCLEADOS	66	13	72	116	267

(1) Conforme relatórios internos da SLU – Superintendência de Limpeza Urbana

No Brasil, o que se pratica nas grandes cidades é a gestão corretiva, altamente ineficiente, visto que se sustenta na "inevitabilidade" de áreas de deposição irregulares.

A **Tabela 3.7** compara os gastos com uma gestão diferenciada, proposta por PINTO (1999). com os de uma gestão convencional.

Tabela 3.7. Despesas totais de algumas municipalidades com gestões (PINTO, 1999).

DESPESAS COM GESTÃO	DESPESAS COM GESTÃO
CORRETIVA	DIFERENCIADA
R\$124,501	R\$72,590

Fonte: dados obtidos nos municípios de Santo André, São José do Rio Preto e Jundiaí.

A reciclagem de RCDs tem acontecido somente no âmbito municipal, não

havendo, até o momento, iniciativas por parte do setor privado no sentido de participar do processo. Isso ocorre devido ao fato de não haver políticas públicas claras em relação ao tratamento do assunto.

Nos EUA, segundo JOHN (2000), existe uma política nacional para a compra de produtos e serviços "ambientalmente preferíveis", estando aí incluídos os produtos que contenham resíduos ou que previnam a geração dos mesmos.

Uma política nacional de valorização de produtos provenientes de resíduos ajudaria a mudar a cultura que ainda existe no país, onde se associa o produto reciclado a um produto de baixo padrão de qualidade.

Pesquisas têm mostrado que se pode obter um produto reciclado de boa qualidade. Para isso, quanto mais homogêneo for o resíduo, com menos impurezas, melhor será o produto final.

Uma das maneiras de se obter um material de melhor qualidade é começar um processo seletivo do resíduo dentro do próprio canteiro de obra, separando o material a ser aproveitado do material descartável. Algumas empresas já começaram a implantar estas medidas.

Um outro modo de se conseguir um produto (resíduo) de melhor qualidade é através do chamado "desmantelamento seletivo". Este procedimento vem substituir o processo de demolição tradicional, onde não existe uma preocupação em separar o material possível de ser reciclado, do material descartável. No processo de desmantelamento, esta preocupação está presente em todo o momento. Os materiais a serem reciclados são retirados em etapas definidas de acordo com o tamanho, o processo construtivo e o tipo de material.

O fato é que a utilização do resíduo é comprovadamente viável e traz uma série de benefícios para a sociedade e para o meio ambiente e para que ocorra um crescimento da reciclagem no Brasil, basta que se crie condições (políticas) favoráveis, seja através de legislações claras e objetivas, seja através de incentivos fiscais ou de financiamentos em condições mais viáveis.

3.3 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

Em 31 de agosto de 1981, foi sancionada a Lei Nº 6.938, que vinha estabelecer a Política Nacional do Meio Ambiente e instituir o Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA.

Dentro da composição do SISNAMA, está o CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. O CONAMA é o órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA e tem como finalidade, "assessorar, estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normais e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida".

A Lei Nº 6938/81 define meio ambiente como "o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas".

O CONAMA possui diversas Câmaras Técnicas, dentre elas algumas estão mais diretamente ligadas a questão dos resíduos e o meio ambiente, como as Câmaras de Saúde, Saneamento Ambiental e Gestão de Resíduos, Controle e Qualidade Ambiental e Câmara de Economia e Meio Ambiente.

Dentro deste contexto, em 5 de Julho de 2002, foi aprovada a Resolução Nº 307, do CONAMA, que estabelece, de acordo com o Artigo 1º, diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, visando minimizar os impactos ambientais.

No seu Artigo 2º a Resolução 307 adota, dentre outras, as seguintes definições:

I – Resíduos de construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas etc., comumente chamados entulhos de obras, caliça ou metralha;

- II Geradores: são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos definidos nesta Resolução;
- III Transportadores: são as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação;
- IV Agregado reciclado: é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infra-estrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia;
- V Gerenciamento de resíduos: é o sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos;
- VI Reutilização: é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo;
- VII Reciclagem: é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação;
- VIII **Beneficiamento**: é o ato de submeter um resíduo a operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto.

Já no seu Artigo 3º a Resolução classifica os resíduos da construção civil da seguinte forma:

- I Classe A são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados,
 tais como:
 - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
 - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes

- cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- II Classe B são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais
 como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros;
- III Classe C são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso;
- IV Classe D são os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

A Resolução determina que os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final; sendo que os resíduos da construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota fora", em encostas, corpos d'água, lotes vagos e em ares protegidas por lei.

O Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil é o instrumento a ser elaborado pelos Municípios e pelo Distrito Federal, para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil. O Plano deverá incorporar:

- I O Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção
 Civil; e
 - II Os Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil.

No seu Artigo 10 a Resolução determina que os resíduos da construção civil deverão ser destinados das seguintes formas:

I – Classe A: deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados,

ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

- II Classe B: deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- III Classe C: deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas;
- IV Classe D: deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Os Municípios e o Distrito Federal têm o prazo máximo de doze meses elaborarem seus Planos Integrados de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil, e o prazo máximo de dezoito meses para sua implementação.

A Resolução entra em vigor a partir de 2 de janeiro de 2003.

O Comitê Técnico da RILEM TC 121-DRG apresentou, no 3º Simpósio Internacional sobre Demolição e Reutilização de Concreto e Alvenaria em 1993, a seguinte classificação para a fração graúda dos agregados reciclados (RILEM TC 121 – DRG, 1994).:

- Tipo I Agregados provenientes em sua maioria de resíduos de alvenaria;
- Tipo II Agregados provenientes de material constituído predominantemente de concreto:
- Tipo III Agregados provenientes de uma mistura de agregados naturais e reciclados, onde as seguintes exigências devem ser respeitadas:
 - Conteúdo mínimo de agregados naturais de 80% em massa;
 - Conteúdo máximo de agregados Tipo I de 10% em massa.

A **tabela 3.8** apresenta as especificações apresentadas pelo comitê para os agregados reciclados.

Tabela 3.8. Classificação dos agregados graúdos reciclados para concreto (RILEM, 1994)

Especificações		o de agre		
		TIPO II CARG		Método de Ensaio
Massa específica mínima do material seco (kg/m³)	1500	2000	2400	ISO 6738 e 7033
Absorção máxima de água (%)	20	10	3	100 0/00 0 / 000
Quantidade máxima de material SSS < 2200 kg/m³ (%)(a)	-	10	10	
Quantidade máxima de material SSS < 1800 kg/m³ (%)		1	1	ASTM C 123
Quantidade máxima de material SSS < 1000 kg/m³ (%)	1	0,5	0,5	
Quantidade máxima de impurezas (vidro, betume, plásticos) (%)	5	1	1	Visual
Quantidade máxima de metais (%)	1	1	. 1	Visual
Quantidade máxima de matéria orgânica (%)	1	0,5	0,5	NEM 5933
Quantidade máxima de finos < 0.063 mm (%)		2	2	D-EN 022 4
Quantidade máxima de areia < 4 mm (%)(b)	5	5	5	PrEN 933-1
Quantidade máxima de sulfatos (%)(c)	1	1	1	BS 812, parte 118

a - Saturada superfície seca

Fonte: RILEM, citado por LEVY (1997)

A Norma Holandesa NEN 6720 - "Construction Requirements and Calculating Methods (VBC 1995)" permite a substituição de até 20% dos agregados graúdos naturais por agregados reciclados de concreto. Para agregados reciclados de alvenaria, a taxa de substituição é de no máximo 10%.

3.4 USINAS DE RECICLAGEM

De acordo com HANSEN (1992), o procedimento básico da reciclagem consiste em britar o resíduo até se obter a granulometria desejada. A britagem pode acontecer somente uma vez (primária), ou pode se realizar mais de uma britagem, dependendo do tipo de aproveitamento a ser dado para o resíduo.

Segundo BRITO FILHO (1999), as usinas recicladoras não devem ficar próximas a áreas residenciais, nem em áreas centrais, para não sobrecarregarem o tráfego local. O mesmo autor sugere a implantação de cercas vivas no entorno da usina, como forma de conter a poeira e o ruído e melhorar a imagem do local. Outras medidas são ainda recomendadas: utilizar o material reciclado como cobrimento do piso da usina, que ao ser compactado diminuirá o pó proveniente do tráfego de

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

c - Quantidade de sulfato deverá ser calculada como SO3

CARG - Concreto de Agregado Graúdo Reciclado

SSS - Saturado Superficie Seca

As percentagens da tabela referem-se a massa/massa

caminhões; adotar projetos de urbanização e paisagismo como forma de se ter um ambiente mais agradável e sadio; instalação de aspersores nos pontos de entrada e saída de materiais, como forma de reduzir a emissão de pó e reduzir a altura de descarga dos materiais nos pontos de transferência.

Outro fato a ser considerado é a capacidade operacional do equipamento a ser escolhido. Ainda segundo BRITO FILHO (1999), alem da questão do local da instalação da usina, é necessário o conhecimento dos seguintes dados:

- Volume de geração de RCD com possibilidade de ser reciclado;
- O tipo de material a ser usado e para que (qual a aplicação?) será empregado.

Deve-se conhecer, também, os tipos de plantas usadas para o beneficiamento dos RCDs. Basicamente existem dois tipos de plantas: as fixas e as móveis, sendo que as fixas constituem a grande maioria dos tipos existentes no Brasil.

Segundo CAIRNS et al. (1998), as principais vantagens das plantas fixas são:

- Possibilidade de maior diversificação de produtos reciclados e com melhor qualidade em relação aos produzidos pelas plantas móveis;
- Uso de equipamentos maiores e mais potentes, que permitem um melhor processo de britagem dos resíduos, melhor peneiramento e retirada de impurezas em relação aos equipamentos utilizados em plantas móveis.

As desvantagens das plantas fixas se devem ao fato da necessidade de altos investimentos iniciais e da necessidade de grandes áreas para a sua implantação (cerca de 50.000 m²).

Em relação às plantas móveis, as principais vantagens, segundo CAIRNS et al. (1998), são:

- Custos menores (mais que 5%) do que as plantas fixas;
- Menor tempo de instalação;
- Menor custo de transporte do material de demolição para a planta de reciclagem.

Alem disso, as plantas móveis possuem uma maior versatilidade e flexibilidade, por permitir que o beneficiamento do material ocorra o mais próximo possível da fonte consumidora. Elas estão disponíveis em vários tamanhos e sistemas de operação; dispõem de sistema de britagem primário e secundário; tem capacidade para britar peças de até 90cm x 140cm x 140cm; utilizam pouca mão-deobra e pouco tempo para montagem e desmontagem.

3.5 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA O BENEFICIAMENTO DE RCDS

Devido a grande diversidade de equipamentos disponíveis, a escolha do mesmo deve ser bem criteriosa, pois uma escolha correta otimizará os resultados desejados. Na decisão do equipamento a ser utilizado deve ser levada em consideração a capacidade de produção do mesmo, em relação à quantidade de material a ser beneficiado, e o tipo de material a ser obtido. Estes equipamentos têm uma grande influência nas propriedades dos agregados obtidos. A seguir, são apresentados alguns desses equipamentos.

a) Britador de mandíbula

São geralmente utilizados como britadores primários, por não reduzirem muito os tamanhos das partículas, produzindo grande quantidade de material graúdo. Devido a esta característica o material beneficiado deverá sofrer outras britagens em moinhos de martelos, britadores de mandíbulas de pequeno porte etc (LIMA, 1999).

Tem como vantagens: baixo custo de manutenção; é ideal para britagem de rocha, em pedreiras; e segundo HANSEN (1992), com este equipamento pode-se obter melhores curvas granulométricas de agregado reciclado para uso em concreto, quando o resíduo processado é de concreto estrutural.

Segundo LIMA (1999), apresenta como desvantagens:

- Geração de alta quantidade de graúdos;
- •
- Alta emissão de ruído;
- Dificuldade de britagem de peças armadas e peças de madeira de grandes dimensões podendo ocorrer quebras do eixo do britador.

b) Britador de impacto

Podem ser utilizados em britagem primária ou secundária. Há uma grande variedade de britadores de impacto, de diferentes portes, podendo atender as mais variadas necessidades. Principais vantagens:

- Robustez processa tanto peças de concreto armado como vigas de madeira LIMA (1999);
- Produz agregados com distribuição granulométrica mais adequada para obras de pavimentação (HANSEN, 1992);
- Baixa emissão de ruído (LIMA, 1999);
- Produz grãos de forma cúbica, com boas características mecânicas (LIMA,1999; QUEBAUD, 1996; MAULTZSCH, 1998);
- Alta geração de finos, dispensando a rebritagem do material (LIMA,1999).

Apresenta como desvantagem, um alto custo de manutenção, com trocas periódicas de peças (HANSEN, 1992).

c) Moinhos de martelo

Utilizado com britador secundário, pois só produzem material fino (LEVY, 1997). Geralmente são utilizados em conjunto com britadores de mandíbula. Segundo LIMA (1999), o equipamento apresenta uma grelha na boca de saída, o que impede a passagem de materiais mais grossos. Entretanto esta grelha pode ser retirada, permitindo a passagem destes materiais.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Nos capítulos anteriores, procurou-se mostrar que a situação da geração de entulhos deve ser encarada de modo bastante séria, uma vez que ela tem causado uma série de prejuízos para a população e o meio ambiente, visto que já não se encontram lugares para a disposição desses materiais, principalmente nas grandes cidades.

O programa experimental pretende comprovar que o resíduo de construção e demolição pode ser reaproveitado como agregado para a fabricação de concreto reciclado, desde que o mesmo passe por um processo de beneficiamento e que se faça uma análise qualitativa e granulométrica desse material.

4.1 VARIÁVEIS DE ESTUDO

Segundo LEITE (2001), no estudo de viabilidade de um produto deve-se analisar, entre outras coisas, quais características este produto deve ter para satisfazer as necessidades dos clientes. Estas características são as variáveis de resposta, que podem ser medidas e quantificadas em relação às qualidades exigidas.

Deste modo, foram definidas as seguintes variáveis de resposta para o programa experimental:

- Resistência à compressão axial do concreto;
- Massa específica do concreto no estado fresco;
- Absorção por imersão;
- Trabalhabilidade.

Essas variáveis também são chamadas de variáveis dependentes.

Tendo como ponto de partida as variáveis de resposta, foram definidas as variáveis independentes, ou segundo LEITE (2001), os parâmetros do processo. Na fase intermediária as variáveis independentes foram as seguintes:

- Relação a/c: sendo definidos dois níveis para a relação a/c (0.80 e 1.00), com o objetivo de se analisar a trabalhabilidade e resistência à compressão do concreto:
- Percentuais de substituição dos agregados reciclados: foram definidos os percentuais de 25%, 50%, 75% e 100% de agregados reciclados com o objetivo de se estudar o comportamento do concreto em função da granulometria do agregado e da quantidade do mesmo.

Na fase final, a relação a/c foi determinada em função da consistência, que foi definida em 50 ± 10 . Deste modo a relação a/c pode ser considerada uma variável interveniente, segundo LEVY (2001).

Alem destas variáveis, foram definidos os fatores que deveriam ser mantidos constantes durante toda a fase experimental. São eles:

- Idade do concreto (28 dias padrão);
- Tipo de cura (câmara úmida).

4.2 ASPECTOS GERAIS DA PRODUÇÃO DA USINA DE RECICLAGEM DA PAMPULHA EM BH

As amostras de RCDs necessárias para a realização do estudo foram coletadas na Usina da Reciclagem de Entulho da Pampulha, em Belo Horizonte. A usina produz dois tipos de resíduos britados: o resíduo "tipo A" (denominação utilizada pelo pessoal da usina), é o resíduo proveniente, em sua maioria, de entulhos de concreto, e o resíduo "tipo B", que é o proveniente dos demais tipos de entulhos, como material cerâmico, argamassas etc.

Os resíduos são transportados até a usina por caminhões basculantes ou por pequenos catadores. Após serem descarregados, é feita a separação dos resíduos de forma manual pelo pessoal da produção da usina (foto 1 – Anexo A). Após a separação dos entulhos, os mesmos passam pela britagem primária, através de um

britador de impacto (foto 2 – Anexo A), formando-se, após a britagem, duas pilhas distintas de materiais.

O resíduo tipo A após passar pela britagem primária, sofrerá ainda um processo de peneiramento elétrico até chegar a granulometria desejada (foto 3 – Anexo A), quando então será utilizado na fabricação de blocos de concreto, meio fios, briquetes etc (foto 4 – Anexo A).

Os resíduos tipo B são utilizados como base e sub-base em obras de pavimentação.

Os rejeitos de entulho (foto 5 – Anexo A) são encaminhados para os lixões.

4.3 METODOLOGIA

O programa experimental contempla 3 etapas distintas, a saber:

- fase inicial: representada pela coleta, preparação e análise do material a ser utilizado;
- fase intermediária: etapa onde se analisará o comportamento do concreto, através de ensaios, no que diz respeito à sua trabalhabilidade e resistência à compressão axial, em função de duas variáveis: fator a/c e percentuais de substituição dos agregados reciclados;
- fase final: partindo dos resultados obtidos na etapa anterior, esta fase visa otimizar àqueles resultados, no que diz respeito a resistência à compressão axial do concreto. Para isso, estabeleceu-se uma consistência para o concreto de 50 ± 10, onde se teria uma boa trabalhabilidade do mesmo. Portanto os fatores a/c empregados deveriam atender nessa condição.

Essas fases serão mais detalhadas nos próximos itens.

4.4 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras de RCDs necessárias para a realização do estudo foram obtidas segundo às recomendações da NBR 10007/87 – "Amostragem de Resíduos" que determina as condições exigíveis para amostragem, preservação e estocagem de

resíduos sólidos.

4.5 QUANTIDADE E FORMA DE COLETA

Foram coletados aproximadamente 1 ton. de entulho britado (tipo A e tipo B), ou seja, as coletas foram feitas no final da linha de produção da usina.

Com o auxílio do pessoal da produção e com a utilização de uma pá carregadeira, o entulho foi retirado da base, do meio e do topo das pilhas, como determina a NBR 10007/87, e colocado em sacos de nylon de 50 Kg e acondicionados na caçamba do veículo que efetuou o transporte (foto 6 – Anexo A) até a cidade de Campos dos Goitacazes, RJ.

4.6 ARMAZENAMENTO

O material foi armazenado no Laboratório de Construção Civil do CEFET-CAMPOS-RJ, ficando acondicionado nos sacos onde haviam sido transportados (foto 7 – Anexo A).

4.7. Caracterização Qualitativa do Resíduo

4.7.1. Faixas Granulométricas

Foram analisadas duas faixas granulométricas:

- Faixa 1: material passante na peneira 19 e retido na 4,8.
- Faixa 2: material passante na peneira 4,8 e retido na peneira 0,3.

Através do processo de quarteamento, definido pela NBR 9941/87 – "Redução de Amostra de Campo de Agregados para Ensaios de Laboratórios" – foram separadas duas frações de 10 Kg da amostra para cada faixa.

4.7.2 COMPOSIÇÃO DO RESÍDUO

4.7.2.1 Metodologia

Primeiramente, o material foi lavado com o objetivo de se eliminar impurezas que viessem dificultar a identificação dos constituintes. Após a lavagem, o mesmo foi

colocado em uma estufa (**foto 8 – Anexo A**), a uma temperatura de 105º C, até a constância de massa, a fim de eliminar toda a água absorvida. Terminado esse processo, foi realizada a separação manual do material, (**foto 9 – Anexo A**), de acordo com a sua composição.

Foram encontrados os seguintes elementos na análise da amostra: concreto, argamassa, material cerâmico, rocha e outros.

Após a separação do material, cada fração foi pesada em uma balança com precisão de grama, e a partir das massas obtidas, chegou-se à fração de cada um dos constituintes (foto 10 – Anexo A).

4.8 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

4.8.1 Peneiras Utilizadas

A **tabelas 4.1 e 4.2** mostram as peneiras utilizadas para a caracterização granulométrica dos resíduos – graúdo e miúdo.

Tabela 4.1. - Peneiras utilizadas para a caracterização granulométrica – agregado graúdo

SÉRIE NORMAL	SÉRIE INTERMEDIÁRIA
19 mm	
	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,8 mm	-

Tabela 4.2. – Peneiras utilizadas para a caracterização granulométrica – agregado miúdo

SÉRIE NORMAL	SÉRIE INTERMEDIÁRIA
4,8 mm	=
2,4 mm	-
1,2 mm	-
0,6 mm	-
0,3 mm	-

4.8.2 Metodologia

Seguindo as prescrições da NBR 7217/87 – "Agregado – Determinação da Composição Granulométrica", foi formada uma amostra de resíduo com 10 Kg de massa, através do processo de quarteamento, conforme a NBR 9941/87.

A amostra foi colocada em estufa, a 105º C, por aproximadamente 24h, até atingir a constância de massa, quando, então, efetuou-se a medição da mesma (massa) e o seu peneiramento, através de um agitador mecânico, (foto 11 – Anexo A), com o uso das peneiras de 4,8 até a 19. Ainda segundo as prescrições da NBR 7217/87, foram medidas as frações retidas e acumuladas em cada peneira e suas respectivas porcentagens.

Finalmente, calculou-se o módulo de finura e a dimensão máxima característica da amostra. O mesmo procedimento foi realizado para o agregado miúdo com o uso das peneiras de 0,3 até 4,8.

4.9 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.9.1 Cimento

Durante toda a pesquisa utilizou-se cimento CP II E – 32, por tratar-se do cimento mais empregado na região, e o mais utilizado para a produção de blocos de concreto e elementos construtivos não estruturais, objeto deste estudo.

4.9.2 Agregados

Agregado miúdo natural: utilizou-se areia média e fina proveniente do rio Paraíba do Sul.

Agregado graúdo natural: utilizou-se brita 1, com granulometria entre 4,8mm e 19mm, conforme a NBR 7211/83.

Agregado miúdo reciclado: utilizou-se como agregado miúdo reciclado todo material passante na peneira 4,8mm e retido na 0,3mm.

Agregado graúdo reciclado: todo o material passante na peneira 19mm e

retido na 4,8mm.

4.10 CURA

Os corpos de prova foram desmoldados após 24 horas e colocados em uma câmara úmida até serem ensaiados (foto 12 – Anexo A).

4.11 RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO

Na fase intermediária trabalhou-se com fatores a/c de 0.80 e 1.00 e na fase final trabalhou-se com o fator a/c em função da consistência definida para o concreto, ou seja, 50 ± 10 .

4.12 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de 10cm x 20cm (foto 13 – Anexo A) - em função da maior disponibilidade dos mesmos por hora da realização dos ensaios - sendo moldados de acordo com a NBR 5738/84 – "Moldagem e cura de corpos de prova de concreto, cilíndricos e prismáticos". Para a determinação da consistência pelo abatimento pelo tronco de cone, seguiu-se as recomendações da NBR 7223/82 – Concreto – Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone".

4.12.1 Metodologia

Utilizou-se como procedimento para a mistura do material, o processo utilizado por ZORDAN (1997), no qual coloca-se inicialmente a fração graúda do material, juntamente com uma parcela de água, com o objetivo de se evitar que a água necessária para a reação do cimento seja absorvida pelos agregados. Depois de alguns minutos, adicionou-se o cimento, a parte miúda do resíduo e o restante d'água.

Os concretos foram produzidos com o auxílio de uma betoneira com capacidade de 150 litros (foto 14 – Anexo A).

4.13 TRAÇOS UTILIZADOS

4.13.1 Fase intermediária

O traço utilizado na fase intermediária foi 1:6 (cimento: agregados de entulho/agregado natural), por ser o traço empregado pelo pessoal da Usina de Reciclagem da Pampulha para a produção dos materiais (blocos de concreto, meio fios etc).

A partir daí, variou-se às porcentagens correspondentes aos agregados reciclados (percentuais de substituição), com quatro composições diferentes (25%, 50%, 75% e 100% de agregado reciclado) para cada fator a/c empregado, mais o concreto de referência (cimento, brita e areia), conforme **tabela 4.3**. Assim sendo, os traços foram assim denominados:

CR 25 – CONCRETO COM 25% DE AGREGADO RECICLADO

CR 50 – CONCRETO COM 50% DE AGREGADO RECICLADO

CR 75 – CONCRETO COM 75% DE AGREGADO RECICLADO

CR 100 – CONCRETO COM 100% DE AGREGADO RECICLADO

CC – CONCRETO CONVENCIONAL OU DE REFERÊNCIA

Tabela 4.3. – Concretos produzidos na fase intermediária – **traço 1:6**

A/C	AMOSTRA			
	CC			
	CR 25			
0.80	CR 50			
	CR 75			
	CR 100			
	CC			
	CR 25			
1.00	CR 50			
	CR 75			
	CR 100			

4.13.2 Fase final

Na fase final utilizou-se os traços 1:4, 1:4,5, 1:5, 1:5,5 e 1:6. Em relação ao percentual de substituição dos agregados, utilizou-se a composição com 100% de agregado reciclado (CR 100). O fator a/c foi definido em função da consistência préestabelecida de 50 ± 10. A **tabela 4.4** apresenta os dados relativos a esta fase.

Tabela 4.4. Traços empregados na produção de concretos (fase final)

AMOSTRA	TRAÇO	A/C
	1:4	A definir
CR 100	1:4,5	A definir
	1:5	A definir
	1:5,5	A definir
	1:6	A definir

4.14 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA

Os ensaios para a determinação da massa específica dos agregados miúdos (natural e reciclado), seguiram as recomendações da NBR 9776/87, "Agregados – determinação da massa específica dos agregados miúdos por meio do frasco de Chapman".

A norma utilizada para a determinação da massa específica dos agregados graúdos foi a NBR 9937/87, "Agregados – determinação da absorção e massa específica do agregado graúdo".

A massa unitária foi determinada segundo as recomendações da NBR 7251/82, "Agregado em estado solto – determinação da massa unitária".

4.15 ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS AGREGADOS

A norma utilizada para a determinação da absorção de água pelo agregado graúdo foi a NBR 9937/87, "Agregados – determinação da absorção e massa específica do agregado graúdo". Para o agregado miúdo, foi utilizada a NBR 9777/87, "Agregados – determinação da absorção de água em agregados miúdos".

4.16 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL

Os ensaios de resistência à compressão seguiram as recomendações da NBR 5739/94, "Concreto – Ensaios de Compressão de Corpos de Prova Cilíndricos – Métodos de

Ensaios".

Na fase intermediária os corpos foram ensaiados aos 3, 7 e 28 dias, exceto o concreto de referência, rompido somente aos 28 dias. Na fase final os corpos de prova foram rompidos somente aos 28 dias.

4.17 QUANTIDADE DE CORPOS DE PROVA

4.17.1 Fase intermediária

Foram rompidos 39 corpos de prova para cada fator a/c, sendo 9 corpos de prova para cada concreto produzido com agregados de resíduos (percentuais de substituição), sendo rompidos 3 corpos de prova aos 3 dias, 3 aos 7, e três aos 28 dias, e 3 corpos de prova do concreto de referência rompidos aos 28 dias, totalizando 78 corpos de prova, conforme **tabela 4.5.**

Tabela 4.5. – Quantidade de corpos de prova rompidos de acordo com os traços, fator a/c e idade dos concretos - (fase intermediária)

A/C	AMOSTRA	RESISTÊNCIA (dias)	СР	TOTAL	•
0.80	CC	28	3	3	REFERÊNCIA
	CR 25	03 , 07, 28	3+3+3	9	
	CR 50	03 , 07, 28	3+3+3	9	
	CR 75	03 , 07, 28	3+3+3	9	
	CR 100	03 , 07, 28	3+3+3	9	
1.00	CC	28	3	3	REFERÊNCIA
	CR 25	03 , 07, 28	3+3+3	9	
	CR 50	03 , 07, 28	3+3+3	9	
	CR 75	03 , 07, 28	3+3+3	9	
	CR 100	03 , 07, 28	3+3+3	9	
				78	TOTAL

Optou-se por não se romper o concreto convencional aos três e sete dias, em função de ter-se utilizado a idade padrão de 28 dias para efeito de comparação dos resultados.

4.17.2 Fase final

Nesta fase foram rompidos 18 corpos de prova aos 28 dias, sendo 3 (três) corpos-de- prova do concreto de referência (traço 1:4) e 15 corpos de prova referentes ao concreto com agregados reciclados (CR 100), em cinco traços diferentes, conforme **tabela 4.6**.

Tabela 4.6. – Quantidade de corpos de prova rompidos na fase final

AMOSTRA	TRAÇO	CP fc 28 dias	TOTAL
CR 100	1:4	3	3
	1:4,5	3	3
	1:5	3	3
	1:5,5	3	3
	1:6	3	3
REFERÊNCIA	1:4	3	3
			18

4.18 MATERIAIS PULVERULENTOS

Com o objetivo de uma melhor caracterização do resíduo, levantou-se o teor de materiais pulverulentos dos mesmos, segundo a NBR 7219/87 – "Agregados – Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos".

4.19 ABRASÃO DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL E RECICLADO

Para a realização dos ensaios do desgaste por abrasão foram seguidas as recomendações da NBR 6465/84 - "Agregados - Determinação da abrasão Los Angeles".

5 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

5.1 VARIÁVEIS DE ESTUDO

A definição das variáveis de estudo é de grande importância para o desenvolvimento do trabalho, visto que são elas que irão dizer os caminhos que deverão ser seguidos durante o desenrolar do mesmo. A partir dos resultados obtidos pelas variáveis de resposta, nos momentos iniciais, serão tomadas decisões para os procedimentos futuros. Elas serão o ponto de referência durante todo o trabalho.

As variáveis independentes são as variáveis que podem ter seus valores alterados durante o desenvolvimento da pesquisa e é através delas que poderá se chegar a valores desejáveis, ou não, para as variáveis de resposta ou dependentes. A escolha de valores que estejam dentro de faixas toleráveis de aceitação, irá facilitar o desenvolvimento de todo o trabalho.

5.2 CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA DO RESÍDUO

A análise da composição do RCD é de grande importância para o estudo do comportamento do concreto produzido por esses materiais, conforme foi visto no capítulo 3.

Na análise qualitativa do resíduo foram encontrados os seguintes elementos:

- Concreto: todo material composto por cimento, areia e brita, possível de identificação;
- Argamassa: parcela constituída de areia e cimento e/ou cal, sem a presença de agregado graúdo ou pedrisco;

- <u>Material cerâmico</u>: todo material cerâmico, polido ou não, constituído basicamente por tijolos, telhas e revestimentos cerâmicos;
- <u>Rochas:</u> qualquer fragmento de rocha natural, usado ou não, e que não apresente material aglomerante;
- Outros: materiais como papel, madeira, metais, têxteis, entre outros.

A **Tabela 5.1** mostra os percentuais encontrados para cada um dos constituintes.

Tabela 5.1. – Porcentagem dos constituintes encontrados na amostra de resíduo analisada

CONSTITUINTE	AMOSTRA (%)
Argamassa	38.6
Concreto	19.2
Mat. Cerâmicos	20.5
Rocha	21.1
Outros	0.6
Total	100

Os números mostram uma predominância da argamassa no entulho, fato já detectado em outros estudos, como os de PINTO (1986), ZORDAN (1997) e CARNEIRO et al (2000).

Em relação ao material cerâmico, cabe ressaltar que do total apresentado (20,5%), uma pequena parcela diz respeito à cerâmica polida (cerca de 1,5%).

A análise qualitativa do entulho foi realizada encima dos agregados graúdos, devido a maior facilidade em visualizar os constituintes dos mesmos. A figura a seguir ilustra os dados apresentados na **tabela 5.1**.

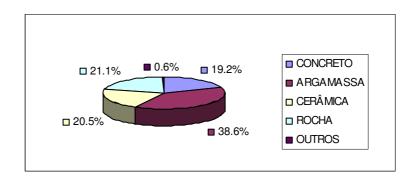


Figura 5.1. – Composição dos resíduos de construção e demolição coletados na Usina de Reciclagem de Entulho da Pampulha em Belo Horizonte/MG.

5.3 CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA

5.3.1 Agregado Miúdo (natural e reciclado)

Os resultados obtidos para as porcentagens retidas e acumuladas dos agregados miúdos (natural e reciclado) estão apresentados nas **tabelas 5.2 e 5.3**, bem como o módulo de finura dos mesmos e a dimensão máxima característica.

Tabela 5.2. – Caracterização granulométrica do agregado miúdo natural

PENEIRAS	% RETIDA	% ACUMULADA
(mm)	(g)	(g)
4.8	0.24	0.24
2.4	6.80	7.04
1.2	8.81	15.85
0.6	30.40	46.25
0.3	38.81	85.06
0.15	14.06	99.12
< 0,15	0.88	100
TOTAL	100	-
MÓDULO DE	2.54	
DIMENSÃO N	4.8	
CARACTERÍST	7.0	
GRADUA	ZONA 3	

Tabela 5.3. – Caracterização granulométrica do agregado miúdo reciclado

PENEIRAS	% RETIDA	% ACUMULADA
(mm)	(g)	(g)
4.8	0.89	0.89
2.4	20.06	20.95
1.2	29.98	50.93
0.6	30.97	81.90
0.3	12.72	94.62
0.15	4.60	99.22
< 0,15	0.7 8	100
TOTAL	100	-
MÓDULO I	DE FINURA	3.49
	O MÁXIMA ERÍSTICA m)	4.8
GRADI	JAÇÃO	ZONA 4

Pode-se notar que o agregado miúdo reciclado encontra-se numa zona diferente de graduação em relação ao natural, sendo classificado na zona 4 (areia grossa).

O mesmo aconteceu em relação ao módulo de finura (soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100) cujo valor foi aproximadamente 54% maior em comparação com o encontrado para o agregado natural. Este fato vem comprovar a tendência apontada na bibliografia, de granulometria mais grossa para os reciclados.

As curvas granulométricas dos agregados miúdos (natural e reciclado) estão representadas nas **figuras 5.2 e 5.3**.

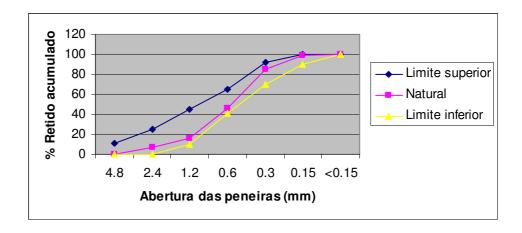


Figura 5.2. Curva granulométrica do agregado miúdo natural

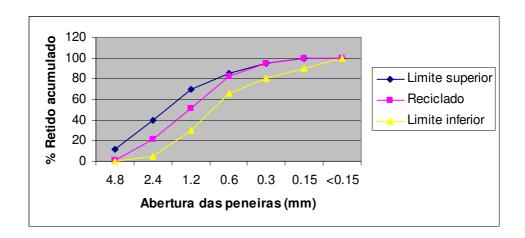


Figura 5.3. Curva granulométrica do agregado miúdo reciclado

Os gráficos confirmam que os agregados miúdos, natural e reciclado, estão dentro dos limites das zonas 3 e 4, respectivamente, de acordo com a NBR 7211/83.

5.3.2 Agregados Graúdos (natural e reciclado)

Os resultados da caracterização granulométrica dos agregados graúdos (natural e reciclado) estão representados nas **tabelas 5.4 e 5.5.**

Tabela 5.4. – Caracterização granulométrica do agregado graúdo natural

PENEIRAS	% RETIDA	% ACUMULADA	
(mm)	(g)	(g)	
19.0	3.3	3.3	
12.7	57.3	60.6	
9.5	33.8	94.4	
6.3	5.1	99.5	
4.8	0.5	100	
< 4,8		100	
TOTAL			
MÓDULO DE I	MÓDULO DE FINURA		
DIMENSÃO M	19		
CARACTERÍSTI	19		
GRADUAÇ	Brita 1		

Tabela 5.5. – Caracterização granulométrica do agregado graúdo reciclado

PENEIRAS	% RETIDA	% ACUMULADA
(mm)	(g)	(g)
19.0	3.62	3.62
12.7	32.53	36.15
9.5	23.55	59.7
6.3	34.2	93.9
4.8	4.99	98.89
< 4,8	1.11	100
TOTAL	662.21	-
MÓDULO [DE FINURA	6.62
CARACTI	O MÁXIMA ERÍSTICA m)	19
GRADI	JAÇÃO	

De acordo com os dados obtidos da porcentagem retida acumulada a fração graúda do entulho não se enquadra em nenhuma das graduações prescritas pela NBR 7211/83, que classifica as britas em 0, 1, 2, 3, 4 e 5.

Este fato já havia sido constatado em outros estudos, como os de ZORDAN (1997) e LEITE (2001).

Entretanto, isto não traz nenhum prejuízo para o estudo em questão, visto que a maior variabilidade nos grãos do resíduo permite um melhor rearranjo entre suas partículas e as superfícies de contato, contribuindo para um bom desempenho do concreto.

5.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

5.4.1 FASE INTERMEDIÁRIA

Nesta fase não foi estabelecido nenhum limite para a consistência do concreto no seu estado fresco. A quantidade de água utilizada foi à necessária para se ter uma trabalhabilidade satisfatória. Assim sendo, os valores obtidos no ensaio de abatimento do tronco de cone são bem variados como mostra a **tabela 5.6.**

Em relação às variáveis independentes (fator a/c e percentuais de substituição dos agregados), trabalhou-se com dois fatores a/c (0,80 e 1,00) e quatro percentuais de substituição para os agregados reciclados (25%, 50%, 75% e 100%), alem do concreto de referência. O traço adotado foi 1:6 (cimento: agregados de resíduos/ cimento: brita + areia).

Esta fase tinha como objetivo analisar o comportamento das variáveis de resposta (resistência à compressão, trabalhabilidade) em função das variáveis independentes, visando ações futuras.

Tabela 5.6. Valores da consistência do concreto na fase intermediária de acordo com o fator a/c e do percentual de substituição dos agregados.

CONSISTÊNCIA CONSISTÊNCIA A/C **AMOSTRA** A/C **AMOSTRA** (mm) (mm) **CR 25** CR 25 36 50 CR 50 **CR 50** 33 46 0.80 CR 75 1.00 CR 75 42 28 **CR 100 CR 100** 30 45 **REFERÊNCIA REFERÊNCIA** 40 65

Traço 1:6

5.4.2 Fase final

A fase final teve como um dos referenciais os resultados obtidos na fase anterior. Alem disso, procurou-se atentar para o objetivo principal do trabalho, que visa o aproveitamento de agregados (graúdos e miúdos) para a produção de novos concretos.

Assim, decidiu-se que a amostra a ser adotada nesta fase seria a amostra com 100% de agregados (CR 100), 50% de agregado graúdo de resíduo e 50% de agregado miúdo de resíduo, em função dos resultados alcançados por esta amostra terem sido bastante satisfatórios na fase anterior.

Ficou estabelecido, também, que a consistência do concreto no seu estado fresco deveria ficar no intervalo entre 50 ± 10. Deste modo, os fatores a/c deveriam atender a consistência adotada. Os traços empregados foram: 1:4, 1:4.5, 1:5, 1:5.5 e 1:6. A **tabela 5.7** mostra os resultados alcançados.

Tabela 5.7. Traços, fatores a/c e consistência dos concretos produzidos na fase final

AMOSTRA	TRAÇO	A/C	CONSISTÊNCIA
	1:4	0.80	55
	1:4,5	0.85	52
CR 100	1:5	0.89	49
	1:5,5	0.92	46
	1:6	0.99	44
REF.	1:4	0.60	54

5.5 MASSA ESPECÍFICA E MASSA UNITÁRIA

A determinação da massa específica dos materiais é de fundamental importância para a dosagem do concreto, visto que no Brasil é comum fazer-se a dosagem em volume. Portanto,, para o cálculo dos traços estes valores tornam-se indispensáveis.

A massa unitária, que é a razão entre a massa das partículas do agregado por unidade de volume, incluindo os poros e os vazios existentes entre os grãos, depende do grau de adensamento e da compacidade do material, ou seja, da quantidade de vazios existente entre suas partículas.

Os valores médios da massa específica e da massa unitária após três determinações, conforme prescreve a NBR 7251/82, estão apresentados na **tabela 5.8.**

Tabela 5.8. Massa específica e unitária dos agregados – valores médios

FRAÇÃO	TIPO DE	MASSA ESPECÍFICA	RELAÇÃO COM O NATURAL	MASSA UNITÁRIA	RELAÇÃO COM
GRANULOMÉTRICA	MATERIAL	(Kg/dm³)	(%)	(Kg/dm³)	O NATURAL (%)
MIÚDO	NATURAL	2.65	-	1.33	-
	RECICLADO	2.54	96	1.15	86
GRAÚDO	NATURAL	2.85	-	1.35	-
	RECICLADO	2.34	82	1.12	83

Pelos resultados percebe-se que a massa específica do agregado miúdo reciclado é, aproximadamente, 4% inferior à massa específica do agregado miúdo natural. Já para o material graúdo a diferença chega a 18%.

A massas unitárias dos agregados reciclados (miúdo e graúdo) apresentam valores inferiores aos agregados naturais. Estes valores chegam a 14% e 17%, respectivamente.

Os números vêem confirmar a tendência apontada na bibliografia, que aponta uma densidade menor para os materiais reciclados, havendo, portanto, a necessidade de compensação das massas desses materiais na hora da confecção dos traços do concreto.

5.6 ABSORÇÃO DE ÁGUA DOS AGREGADOS RECICLADOS

Seguindo-se os procedimentos prescritos pelas Normas NBR 9777/87 e NBR 9937/87, determinou-se os valores da absorção dos agregados miúdos e graúdos reciclados.

As amostras, de 1Kg aproximadamente, devidamente quarteadas, apresentaram valores médios, após duas determinações, de acordo com os dados constantes na **tabela 5.9.**

Tabela 5.9. Absorção média dos agregados

AGREGRADOS RECICLADOS			
	ABSORÇÃO (%)		
PROPRIEDADE	10 min	30 min	24 h
GRAÚDO	3.96	4.66	6.12
MIÚDO	6.9	7.48	9.23

A figura 5.4 faz uma análise comparativa da evolução da absorção da água pelos agregados reciclados em relação ao tempo padrão de 24 horas, de acordo com os dados apresentados na tabela 5.9.

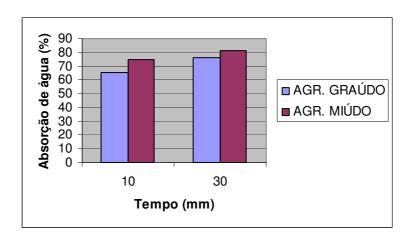


Figura 5.4. Evolução da absorção pelos agregados

Analisando-se os resultados, pode-se observar que a evolução da absorção da água pelos agregados reciclados é bastante parecida; percebe-se que nos primeiros 10 minutos a absorção média da água pelos agregados reciclados varia entre 65% e 70%, para os agregados graúdo e miúdo, respectivamente. Para os primeiros 30 minutos há uma absorção da água total entre 75% e 81% (graúdo e miúdo).

Os números encontrados para a absorção dos agregados estão dentro de algumas prescrições japonesas, citadas por HANSEN (2000), que não recomendam a utilização de agregados reciclados para a produção de concreto, quando a absorção dos mesmos for maior que 7% (graúdos) e 13% (miúdos).

Outras recomendações do WORKS BUREAU TECHNICAL CIRCULAR (2002), cita que para a produção de concreto pré-misturado com o uso de 100% de

agregados graúdos reciclados, o mesmo não deve ter absorção maior que 10%.

5.7 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

5.7.1 Fase intermediária

A **tabela 5.10** apresenta os resultados alcançados pelos concretos para a resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias.

Tabela 5.10 - Resistência média à compressão alcançada pelos concretos aos 3, 7 e 28 dias – fase intermediária

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MPa A/C **AMOSTRA** 7 DIAS 28 DIAS 3 DIAS CR 25 3.4 5.3 6.8 CR 50 10.2 12.5 4.3 0.80 CR 75 3.6 5.7 7.1 CR 100 4.3 7.6 10.5 CC 12.3 **CR 25** 2.0 4.3 5.6 2.8 5.2 7.7 CR 50 CR 75 2.1 4.6 5.7 1.00 CR 100 2.5 6.2 7.4 CC 7.2

Traço 1:6

Analisando-se os dados contidos na tabela, pode-se chegar a algumas observações importantes, tais como:

- A amostra que apresentou resultado mais expressivo em relação à resistência à compressão foi a amostra CR 50 (12.5 MPa), que tinha em sua composição 50% de material graúdo reciclado. Esta amostra apresentou, inclusive, valores maiores que os apresentados pelo concreto convencional;
- Os valores alcançados pelos concretos reciclados utilizando-se o fator a/c de 1.00 foram até 40% menores quando comparados com os valores obtidos com o fator 0.80; para o concreto convencional essa diferença chegou a mais de 50%;
- A amostra CR 50 foi a que obteve o melhor resultado em todas as idades estudadas;

 O fator a/c tem um papel fundamental na resistência à compressão dos concretos, como prevê o enunciado da Lei de Abrams, que diz: "dentro do campo dos concretos plásticos, a resistência aos esforços mecânicos, bem como outras propriedades do concreto endurecido, variam na razão inversa da relação a/c".

A partir dos dados apresentados na tabela 5.10, montou-se a **Tabela 5.11** que apresenta a evolução da resistência à compressão dos concretos em função da idade dos mesmos.

Tabela 5.11 Evolução da resistência dos concretos em função da idade

		RESISTÊ	NCIA À CON	//PRESSÃO
A/C	AMOSTRA		(%)	
		3 DIAS	7 DIAS	28 DIAS
	CR 25	50%	78%	100%
0.80	CR 50	34%	82%	100%
	CR 75	51%	80%	100%
	CR 100	41%	72%	100%
	CR 25	36%	77%	100%
1.00	CR 50	36%	73%	100%
1.00	CR 75	37%	81%	100%
	CR 100	34%	84%	100%

Analisando-se os números da **tabela 5.11**, percebe-se que houve um acréscimo significativo da resistência entre o terceiro e sétimo dias, fato já constatado por BAZUCO (1999).

Entretanto, os dados contidos na tabela mostram variações bem próximas entre os concretos. A diferença, em percentagem, entre o maior valor encontrado e o menor valor, para o fator 0.80, aos três dias, está em torno dos 17%. Já para os sete dias a diferença cai para 10%. Para o fator 1.00 as diferenças ficam em 3% aos três dias e 11% aos sete dias.

Praticamente todas as amostras alcançaram valores bem próximos aos sete dias – entre 70% e 80% - o que poderia sugerir que a porcentagem (percentual de substituição) de agregados reciclados empregada nos traços não teria influência na evolução da resistência do concreto. Entretanto, para melhores conclusões, seria necessário à realização de mais estudos sobre a questão.

A evolução da resistência à compressão do concreto reciclado se comportou de forma semelhante a do concreto convencional - apesar do mesmo não ter sido rompido aos três e sete dias - segundo a bibliografia.

A **tabela 5.12** traz uma análise comparativa entre as resistências médias obtidas aos 28 dias pelos concretos produzidos com agregados reciclados e o concreto convencional.

Tabela 5.12 Análise comparativa da resistência média à compressão aos 28 dias entre os concretos produzidos com agregados reciclados e o concreto convencional

A/C	AMOSTRAS				
	CR 25	CR 50	CR 75	CR 100	СС
0.80	55%	102%	58%	85%	100%
1.00	78%	107%	79%	103%	100%

Na análise comparativa foram considerados os valores médios obtidos pelos concretos em detrimento dos valores máximos, devido a maior heterogeneidade dos materiais reciclados.

Os números mostram o bom desempenho da amostra CR 50, que obteve resultados melhores até mesmo que o concreto convencional.

Nesta fase, como o traço permaneceu constante (1:6), o fator a/c teve um papel fundamental nos resultados; percebe-se que o concreto convencional foi o que sofreu maior perda na resistência à compressão com o aumento do fator a/c de 0.80 para 1.00. Houve, também, uma redução nas diferenças entre os valores obtidos pelas amostras.

5.7.2 Fase final

A **Tabela 5.13** mostra os resultados alcançados pelos concretos aos 28 dias em relação à compressão axial e o consumo de cimento dos mesmos.

Tabela 5.13 Resistência média à compressão axial aos 28 dias e consumo de cimento dos concretos – fase final

44400TD 4	TD 4.00	RESISTÊNCIA	CONSUMO	RELAÇÃO COM
AMOSTRA	TRAÇO	28 DIAS (MPa)	DE CIMENTO	O REFERÊNCIA (%)
	1:4	16,0	428	90%
	1:4,5	13,1	419	88%
CR 100				
	1:5	11,9	402	84%
	1:5,5	9,8	398	84%
_	1:6	8,2	362	76%
REFERÊNCIA	1:4	17.8	476	100%

Pelos resultados alcançados, comprova-se que para se produzir concretos com agregados reciclados a partir de traços de concretos convencionais e tendo-se como parâmetro a trabalhabilidade dos mesmos, é necessário o aumento do fator a/c, o que acarreta a diminuição da resistência à compressão.

Outro fato verificado é que quanto mais rico for o traço (mais cimento), maior serão as diferenças entre os valores obtidos pelos concretos reciclados em relação aos concretos convencionais. Em traços mais pobres essas diferenças tendem a diminuir, ou seja, as resistências se aproximam.

5.8 MATERIAIS PULVERULENTOS

A **tabela 5.14** mostra a determinação do material pulverulento dos agregados graúdos, natural e reciclado, conforme a NBR 7219.

Tabela 5.14 Material pulverulento dos agregados graúdos

MATERIAL PULVERULENTO (%)			
AGREGRADO GRAÚDO RELAÇÃO			
NATURAL	RECICLADO	NATURAL/RECICLADO	
4.20%	5.50%	76%	

5.9 ABRASÃO DO AGREGADO GRAÚDO NATURAL E GRAÚDO RECICLADO

NATURAL

Peso da amostra = 5000g

Peso retido na peneira 1,7 mm = 3320g

Abrasão = $(5000 - 3320/5000) \times 100 = 33,6\%$

RECICLADO

Peso da amostra = 5000g

Peso retido na peneira 1,7 mm = 2934g

Abrasão = $(5000 - 2934/5000) \times 100 = 41,3\%$

Os resultados mostram que o agregado reciclado tem uma perda por abrasão superior se comparado ao agregado natural – cerca de 19% maior.

Apesar destes números, os agregados reciclados podem ser considerados aptos para a produção de concretos de acordo com a ASTM – C33 "Standard Specification for Concrete Agregates", que considera inadequados para este fim os agregados que apresentarem valores superiores a 50% para o desgaste por abrasão.

5.10 CURVA DE ABRAMS

A curva de Abrams apresentou o mesmo formato normalmente apresentado pelos concretos convencionais, ou seja, ao aumentar-se o fator a/c, a resistência do concreto diminui.

Este fato é de grande importância, pois permite a sua utilização para o estudo de dosagens de concreto que utilizem o entulho como agregado.

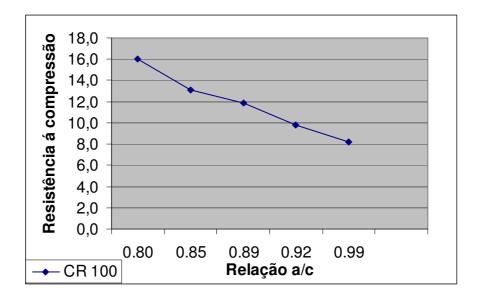


Figura 5.5 Curva de Abrams

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos no programa experimental, podemos concluir que:

- De um modo geral, os números alcançados pelos concretos produzidos com agregados reciclados nos ensaios de resistência à compressão axial foram bastante satisfatórios e atendem a algumas exigências normativas, tais como:
- a) NBR 7173 "Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural", que indica uma resistência à compressão mínima de 2,5 MPa (média amostral) e 2,0 MPa (individual);
- b) NBR 9781 "Peças de concreto para pavimentação", que apesar de não especificar uma resistência mínima para pavimentos onde não haja trânsito de veículos, segundo ZORDAN (1997), o mercado tem adotado a resistência de 15MPa aos 28 dias.
- Na fase intermediária, quando se utilizou um traço mais pobre (1:6), os valores alcançados pelos concretos produzidos com entulho ficaram mais próximos do concreto convencional, chegando, inclusive, a resistências maiores que o mesmo em algumas amostras. Portanto, pode-se concluir que, em princípio, os traços mais pobres seriam mais viáveis economicamente para a produção desses concretos;
- Houve uma grande evolução da resistência à compressão entre os 3 e 7 dias dos concretos produzidos com entulho para todos os traços utilizados;
- A curva de Abrams, que mostra a relação entre a resistência à compressão axial e o fator a/c, apresentou o mesmo formato dos concretos convencionais, o que é um fato positivo para a produção destes concretos;
- A resistência ao desgaste por abrasão dos agregados graúdos reciclados foi

- em média 19% maior que o desgaste dos agregados graúdos naturais;
- Com consumos mais baixos de cimento os valores obtidos entre os concretos para a resistência à compressão axial aos 28 dias ficaram mais próximos; as diferenças percentuais tiveram uma redução acentuada;
- Nos traços mais ricos a ruptura ocorreu nos agregados reciclados, em virtude da baixa resistência dos mesmos em relação a pasta de cimento;
- A presença de material cerâmico polido em parte do entulho, provocou a ocorrência de superfícies de ruptura nos concretos, devido a pouca aderência entre este material e a pasta de concreto;
- Os agregados reciclados (miúdo e graúdo) apresentaram uma taxa de absorção bastante elevada, havendo, portanto, a necessidade de compensar estas taxas durante a confecção dos concretos para que a trabalhabilidade dos mesmos não fosse comprometida;
- As curvas granulométricas dos agregados reciclados (miúdo e graúdo) indicam materiais com granulometria contínua, o que é um fato positivo para estes materiais, devido a possibilidade de um melhor arranjo entre as partículas;
- A maior absorção de água dos agregados reciclados se deve à grande porosidade deste material e a presença de grande quantidade de finos existentes no entulho:
- Pelos resultados obtidos pode-se afirmar que tanto a fração graúda quanto a miúda do entulho podem ser utilizadas para a produção de novos concretos, sem maiores prejuízos com relação ao desempenho mecânico dos mesmos;
- Apesar do bom desempenho dos concretos produzidos com relação às propriedades avaliadas, outros estudos devem ser realizados para que tais conclusões possam ser ratificadas.
- Para que os resultados possam ser ainda mais satisfatórios, deve-se fazer um controle mais rigoroso do material que chega nas usinas, bem como realizar uma separação ainda mais cuidadosa deste material, retirando-se o máximo de rejeito do entulho, antes do mesmo passar pela britagem primária, como forma de se obter um resíduo de melhor qualidade.

Portanto, analisando-se os resultados alcançados, pode-se concluir que o estudo vem contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população, através

da redução dos impactos ambientais causados pela geração de entulhos nos grandes centros urbanos, com a diminuição dos depósitos clandestinos, além de abrir espaço para a utilização de um material alternativo, preservando, deste modo, as reservas naturais.

Como sugestões para trabalhos futuros, pode-se citar:

- Analisar mais profundamente a influência das propriedades dos agregados nas propriedades mecânicas e de durabilidade dos concretos;
- Aprofundar os estudos da influência dos agregados reciclados na trabalhabilidade dos concretos;
- Estudar outras propriedades dos concretos, como resistência à tração e a fluência;
- Estudar mais detalhadamente a interface pasta/agregados reciclados;
- Realizar estudos econômicos do uso de agregados reciclados;
- Avaliar a resistência de aderência dos concretos reciclados;
- Aprofundar os estudos de dosagem dos concretos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. et al. **Estimativa da quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios**. IV Seminário de desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil: materiais reciclados e suas aplicações, p.65-74. São Paulo. 2001.

AMBROZEWICZ, P.H.L. Gestão da qualidade na construção pública: a qualidade na execução de obras públicas baseadas no PBQP-H. Paraná: SENAI – Departamento Regional do Paraná, 2001.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10007 – Amostragem de Resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro, 1987. . NBR 7251 - Agregado em estado solto. Determinação da massa unitária -Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982. . NBR 7217 – Agregado. Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987. . NBR 7223 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento pelo tronco de cone. Rio de Janeiro, 1982. . NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 1994. __. NBR 7211 - Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 1983. NBR 7219 - Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987. . NBR 9937 - Agregados - Determinação da absorção e da massa específica do agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987. . NBR 9941 – Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório. Rio de Janeiro, 1987.

. NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos de

concreto - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

- ____. NBR 9479 Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos de prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro, 1994.
- NBR 9778 Argamassas e concretos endurecidos determinação da absorção de água por imersão índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.
- ____. NBR 10007 **Amostragem de resíduos**. Rio de Janeiro, 1987.
- ____. NBR 9776 Agregados Determinação da massa específica dos agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.
- BAZUCO, R.S. **Utilização de agregados reciclados de concreto para produção de novos concretos**. 123p. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.
- BOILEAU, H.; LACHAMBRE, V.; ACHARD, G. Waste on new building construction sites: existing situation and proposals for a better management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., Paris, 1997. Proceedings. Paris, CSTB, v.1, p.717-24, 1997.
- BRITO FILHO, J.A. **Cidades versus entulho**. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2., 1999, São Paulo. Anais... São Paulo: Comitê Técnico do IBRACON; CT 206 Meio Ambiente, p.56-67, 1999.
- CABRERA, J.L.A. **Morteros de albañilería com escombros de demolición**. Materiales de Construcción, v.47, n.246, p.43-8, abr/jun, 1997.
- CAIRNS, R.; DI NIRO, G.; DOLARA, E. **The use of RAC in prefabrication**. In: DHIR, R.K.; HENDERSON, N.A.; LIMBACHIYA, M.C. (Eds.). Sustainable Construction: Use of recycled concrete aggregate. London: Thomas Telford Pub., p.371-379, 1998b.
- CARNEIRO, A.M.P. et at. **Diagnóstico dos setores produtores de resíduos na região metropolitana de Salvador/Bahia**. Projeto Entulho Bom, p. 48-75. Universidade Federal da Bahia, 2001.
- CEOTTO, L.H. **O desperdício na construção civil**. Construção, v. 48, n. 2480, p. 26-27, ago, 1995.
- DORSTHORST, B.J.H.; HENDRIKS, CH.F. **Re-use of construction and demolition waste in the EU**. In: CIB Symposium in Construction and Environment: Theory into pratice, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings...[CD-ROM]. São Paulo: CIB, 9p,2000.
- FORMOSO, C.T. et al. **Um estudo sobre as perdas de materiais na construção civil e suas principais causas.** In: Encontro nacional em tecnologia do ambiente construído, 6. Avanços em tecnologia e gestão da produção de edificações. São Paulo: POLI:USP, 1993. v.2,p.571-80, 1993.
- FRANCHI, C.C. et al. As perdas de materiais na indústria da construção civil. In:

- Seminário da qualidade na construção civil, 2. Gestão e tecnologia: anais. Porto Alegre, s. ed., 1993. p133-98, 1993.
- FREEMAN, L.A.; HARDER, M.K. Environmental impact of transportation during the transfer and disposal of construction and demolition waste to landfill. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., Paris, Proceedings. Paris, CSTB, 1997. v.1, p.707-715, 1997.
- FREITAS, E.G.A. Obtenção de tijolos de solo cimento com adição de cinzas de bagaço de cana para uso em construção civil. 197p. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1996.
- HANSEN, T.C. RILEM **Report 6 Recycling of Demolish Concrete and Mansory**. London, E & FN SPON in imprint of Chapman & Hall. 305p, 1992.
- HENDRIKS, C.H.; PIETERSEN, H.S.; FRAAY, A.F.A. Recycling of building and demolition waste an integrated approach. In: DHIR, R.K.; HENDERSON, N.A.; LIMBACHIYA, M.C. (Eds.). Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate. London: ThomasTelford Pub. P.419-431, 1998b.
- IBGE, Diretoria de Pesquisa, Departamento de Contas Nacionais (IBGE,2000)
- JOHN, V.M. A construção e o meio ambiente. http\:www.recycle.pcc.usp.br/artigos1.htm. 1998ª.
- JOHN, V.M. Reciclagem de resíduos na construção: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 102p. Tese (Livre Docência) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- JURAN, J.M.;GRYNA,F.M. **Juran's Quality Control Handbook**. 4 ed. New York: Mc Graw Hill, 1998.
- KIBERT, C.J.; SENDZIMIR, J.; GUY, G.B. **Construction ecology and metabolism**. In: CIB Symposium in Construction and Environment: Theory and Pratice, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings... [CD-ROM]. São Paulo: CIB, 8p, 2000.
- LAURITZEN, E.K. **The global challenge of recycled concrete**. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N.A.; LIMBACHIYA, M.C.(Eds.). Sustainable construction: Use of recycled concrete aggregate. London: Thomas Telford Pub, p.505-519,1998.
- LEITE, M.B. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 270p. Tese (Doutorado em Engenharia) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- LEVY, S.M. Reciclagem de entulho de construção civil para utilização como agregado de argamassas e concreto. 145p. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

- LEVY, S.M. Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de concreto e alvenaria. 194p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- LIMA, J.A.R.; TAMAI, M.T. **Programa de gestão diferenciada de resíduos inertes em Santo André: estação entulho.** In: Simpósio internacional de qualidade ambiental Gerenciamento de resíduos e certificação ambiental, 2., Porto Alegre. Anais. EDPUCRS, p.413-418,1998.
- LIMA, J.A.R. de Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos. 246p. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- LOO, W. van. Closing the concrete loop from reuse to recycling. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable construction: use of recycled concrete aggregate. London: Thomas Telford Pub., p.83-97, 1998.
- LOUZADA, D.M. Emprego das escórias siderúrgicas na fabricação de blocos pré-moldados de concreto Estudo de caso. 49p. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1991.
- MAULTZSCH, M.; MELLMANN, G. Properties of large scale processed building rubble with respect to the reuse as aggregate in concrete. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable construction: use of recycled concrete. London: Thomas Telford Pub., p.99-107,1998.
- MESEGUER, A.G. Controle e garantia da qualidade na construção. Trad. De Roberto José Falcão Bauer, Antônio Carmona Filho e Paulo Roberto do Lago Helene, São Paulo, Sinduscon-SP/Projeto/PW,1991.
- MIRANDA, L.F.R. Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado. 166p Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- MÜELLER, A.; WINKLER, A. **Characteristics of processed concrete ruble**. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N. A.; LIMBACHIYA, M. C. (Eds.). Sustainable construction: use of recycled concrete. London: Thomas Telford Pub., p.109-119,1998.
- PBQP-H. **Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat.** Disponível na Internet via: http://www.pbqp-h.gov.br/apresentação/objetivos.htm
- PENG, Chun-Li.; SCORPIO, D.E.; KIBERT, C.J. Strategies for successfulconstruction and demolition waste recycling operations. Construction Management and Economics, n.15,p.49-58,1997.

- PICCHI, F.A. Sistema de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios. 462p. Tese (Doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.
- PICCHI, F.A. **Gestão da qualidade: impacto na redução de desperdícios**. In: Seminário Gerenciamento versus Desperdício. 1995. Anais. São Paulo, Édice, p. 59-68, 1995.
- PIETERSEN, H.S.; FRAAY, A.L.A.; HENDRIKS, C.F. **Aplication of recycled aggregates in concrete: experiences from the Netherlands.** Three-Day CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development of the Cement and Concrete Industry. Ottawa, Canada. p.131-146, 1998.
- PINTO, T.P. Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais. São Carlos: Departamento de Engenharia Civil da Universidade de São Carlos (texto datilografado), 33p, 1989.
- PINTO, T.P. Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In: Reciclagem e reutilização de resíduos com materiais de construção civil (WORKSHOP), Anais. São Paulo, EdUSP/ANTAC, p.156-170,1997ª.
- PINTO, T.P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. 189p. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- POON, C.S. Management and recycling demolition waste in Hong Kong. Waste Management & Research, n.15, p.561-572, 1997.
- Programa Brasileiro de Prospectiva Tecnológica Industrial **Estudo Prospectivo da Cadeia Produtiva da Construção Civil** Volume 1 Diagnóstico
- QUEBAUD, M. Caracterisation dês granulats recycles etude de la composition et du comportement de betons incluant ces granulats. França. 247p. Tese (Doutorado) Universidade d'Arois, 1996.
- RILEM, RILEM TC 121-DRG. Specifications for concrete with recycled aggregates. Materials and Structures, v.27, p.557-559,1994.
- RUCH, M.; SCHULTMANN, F.; SINDT, V.; RENTZ, O. Selective dismantling of buildings: state of the art and new documents in Europe. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., Proceedings. Paris, CSTB, v.1, p.433-40, 1997.
- RUCH, M.; SCHULTMANN, F.; SINDT, V.; RENTZ, O. Strategies for the quality improvement of recycling materials. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 2., 1997. Proceedings. Paris, CSTB, v.1, p.611-18, 1997.
- SEPÚLVIDA, M.A. Entulho de obra: reaproveitamento como agregado miúdo para confecção de argamassa na indústria da construção civil. 98p. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1994.

SILVA NETO, Romeu e. A certificação de qualidade em micro e pequenas empresas de construção de edifícios. Campos dos Goitacazes. UENF/CCT. 41p. Projeto (Tese de Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Estadual do Norte Fluminense, 1998.

SIMONS, B. P.; HENDERIECKX, F. Guidelines for demolition with respect to the reuse of building materials: guidelines and experiences in Belgium. In: INTERNATIONAL RILEM SYMPOSIUM ON DEMOLITION AND REUSE OF CONCRETE AND MASONRY, 3., Odense, 1994. Proceedings. London, E&FN Spon, p.25-34. (Rilem Proceedings, 23), 1994.

SINDUSCON - SP. **Resíduos da construção civil – Nova política e o incentivo a novos negócios.** Disponível na Internet via: http://www.sindusconsp.com.br/meioamb.asp. Acesso: 27 de agosto de 2003.

SOIBELMAN, L. As perdas de materiais na construção de edificações: sua incidência e controle. 127p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

SOUZA, R de. et al. Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras. São Paulo: Pini, 1995.

SOUZA, U.E.L. et al. (a) **Perdas de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito.** Qualidade na construção, v.2, n.13, p.10-15, 1998.

SUPERINTENDÊNCIA DE LIMPEZA URBANA – SLU de Belo Horizonte. **Modelo de gestão de resíduos sólidos em Belo Horizonte**, Belo Horizonte, p.1-16, 1993.

TOALDO, E. Para não virar pó. Construção, n.2348, p.10, fev., 1993.

TORRING, M. **Management of construction and demolition waste streams**. In: Materials and technologies for sustainable construction — CIB WORLD BUILDING CONGRESS, 1998, Gavle, Sweden. Proceedings... Gavle: Kickan Fahlstedt, KTH, Symposium C., p.1911-1918, 1998.

VAN DER WEGEN, G.; HEVERKORT, R. Recycled construction and demolition wastes as a fine aggregate for concrete. In: DHIR, R. K.; HENDERSON, N.A.; LIMBACHIYA, M.C. (Eds.). Sustainable construction: Use of recycled concrete aggregate. London: Thomas Telford Pub., p.333-345, 1998b.

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

ANEXO A - FOTOS



Foto 1 – Separação manual do resíduo de construção e demolição



Foto 2 – Britagem primária dos Resíduos de Construção e Demolição



Foto 3 – Aspecto do entulho "Tipo A" após passar pelo peneiramento elétrico



Foto 4 – Material produzido pela usina de reciclagem da Pampulha/BH



Foto 5 – Entulho não aproveitado – rejeito



Foto 6 – Coleta das amostras com o auxílio do pessoal da usina



Foto 7 – Armazenamento do entulho no CEFET – CAMPOS/RJ



Foto 8 – Material em estufa para estudo da composição do resíduo



Foto 9 – Separação dos constituintes do resíduo



Foto 10 – Pesagem dos constituintes do resíduo



Foto 11 – Peneiramento mecânico dos resíduos



Foto 12 – Moldagem dos corpos de prova



Foto 13 – Produção dos concretos



Foto 14 – Armazenamento dos corpos de prova na câmara úmida

ANEXO B - RESULTADO DOS ENSAIOS

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS TRÊS DIAS – FASE INTERMEDIÁRIA

(FATOR 0.80)

A / C	СР	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
0.80	1	3.6	
	2	3.3	
	3	3.3	CR 25
	MÉDIA	3.4	
	MÁXIMO	3.6	

A/C	СР	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
	1	4.4	
	2	4.3	
0.80	3	4.2	CR 50
	MÉDIA	4.3	
	MÁXIMO	4.4	

A/C	CP	RESISTÊNCIA	AMOSTRA
		(MPa)	
	1	3.6	
	2	3.8	CR 75
0.80	3	3.5	
	MÉDIA	3.6	
	MÁXIMO	3.8	

A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
	1	4.5	
	2	4.1	
0.80	3	4.3	CR 100
	MÉDIA	4.5	
	MÁXIMO	4.3	

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS SETE DIAS – FASE INTERMEDIÁRIA

(FATOR 0.80)

A / C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
	1	5.2	
	2	5.4	_
0.80	3	5.4	CR 25
	MÉDIA	5.3	
	MÁXIMO	5.4	

A/C	CP	RESISTÊNCIA	AMOSTRA
71,7 0	0.	(MPa)	
	1	10.4	
0.80	2	10.2	
	3	10.0	CR 50
	MÉDIA	10.2	
	MÁXIMO	10.4	
		BESISTÊNCIA	AMOSTRA

A / C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
0.80	1	5.5	
	2	5.8	
	3	5.7	CR 75
	MÉDIA	5.7	
	MÁXIMO	5.8	

	A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
		1	7.3	
		2	7.6	
	0.80	3	7.9	CR 100
		MÉDIA	7.6	
		MÁXIMO	7.9	

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS VINTE E OITO DIAS – FASE INTERMEDIÁRIA

(FATOR 0.80)

A/C	CP	RESISTÊNCIA	AMOSTRA
A/ U		(MPa)	
	1	6.8	
	2	6.9	
0.80	3	6.7	CR 25
	MÉDIA	6.8	
	MÁXIMO	6.9	•
A/C	CP	RESISTÊNCIA	AMOSTRA
Α/ Ο	01	(MPa)	
	1	12.8	
	2	12.6	
0.80	3	12.6 12.2	CR 50
0.80			CR 50

A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
0.80	1	7.1	
	2	7.1	
	3	7.2	CR 75
	MÉDIA	7.1	
	MÁXIMO	7.2	

A/C	СР	RESISTÊNCIA	AMOSTRA
		(MPa)	
	1	10.6	
	2	10.5	
0.80	3	10.3	CR 100
	MÉDIA	10.5	
	MÁXIMO	10.6	

A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
	1	12.5	
	2	12.3	
0.80	3	12.1	REFERENCIA
	MÉDIA	12.3	
	MÁXIMO	12.5	

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS TRÊS DIAS – FASE INTERMEDIÁRIA

(FATOR 1.00)

A/C	СР	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
	1	2.0	
	2	2.1	CR 25
1.00	3	2.0	
	MÉDIA	2.0	
	MÁXIMO	2.1	•

A/C	СР	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
	1	2.9	
	2	3.0	
1.00	3	2.5	CR 50
	MÉDIA	2.8	
	MÁXIMO	3.0	

A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
1.00	1	2.2	
	2	2.1	
	3	2.0	CR 75
	MÉDIA	2.1	
	MÁXIMO	2.2	•

A / C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
1.00	1	2.4	
	2	2.5	
	3	2.5	CR 100
	MÉDIA	2.5	
	MÁXIMO	2.5	

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS SETE DIAS – FASE INTERMEDIÁRIA

(FATOR 1.00)

A/C	СР	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
1.00	1	4.2	
	2	4.2	
	3	4.4	CR 25
	MÉDIA	4.3	
	MÁXIMO	4.4	•

A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
1.00	1	5.2	
	2	5.1	
	3	5.2	CR 50
	MÉDIA	5.2	
	MÁXIMO	5.2	

A/C	CP	RESISTÊNCIA	AMOSTRA
		(MPa)	
1.00	1	4.5	
	2	4.6	
	3	4.7	CR 75
	MÉDIA	4.6	
	MÁXIMO	4.7	

A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
	1	6.3	
	2	6.2	
1.00	3	6.0	CR 100
	MÉDIA	6.2	
	MÁXIMO	6.3	

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS VINTE E OITO DIAS - FASE INTERMEDIÁRIA

(FATOR 1.00)

A/C	СР	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
	1	5.6	
	2	5.8	CR 25
1.00	3	5.5	
	MÉDIA	5.6	
	MÁXIMO	5.8	

A/C	CP	RESISTÊNCIA	AMOSTRA
		(MPa)	
	1	7.8	
	2	7.6	
1.00	3	7.8	CR 50
	MÉDIA	7.7	
	MÁXIMO	7.8	

A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
	1	5.9	
	2	5.6	
1.00	3	5.6	CR 75
	MÉDIA	5.7	
	MÁXIMO	5.9	

A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA
1.00	1	7.4	
	2	7.3	_
	3	7.5	CR 100
	MÉDIA	7.4	
	MÁXIMO	7.5	

	A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA	
		1	7.2		
	1.00	2	7.2		
		3	7.3	REFERÊNCIA	
		MÉDIA	7.2		
		MÁXIMO	7.3		

RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL AOS VINTE E OITO DIAS – FASE FINAL

A/C	C P		RESISTÊNCIA		AMOSTRA		TRAÇO
			(MPa)				
	1		15.6			,	
	2		16.2		CR 100		
0.80	3		16.2				1:4
	MÉDIA MÁXIMO		16.0				
			16.2				
-					_		
A/C	A/C P		RESISTÊNCIA		АМС	STRA	TRAÇO
A/C			(MPa)				
	1		13.0				
	2		13.0				
0.85	3		13.2		CR 100		1:4,5
	MÉDIA		13.1				
	MÁXII	МО	13.2]		
				1		ı	
	A/C	СР	RESISTÊNCIA	AN	IOSTRA	TRAÇO	
			(MPa)				
		1	11.8	-			
	0.89	2	11.9	┨ ,	CR 100	1:5	
		3	12.0	۱ '		1.0	
		MÉDIA		-			
	MÁXIM		12.0				
A/C	C F	,	RESISTÊNCIA	1	AMC	OSTRA	TRAÇO
			(MPa)				
	1		9.9				
	2		9.9				4.5
0.92	3		9.6	9.6 CI		R 100	1:5,5
	MÉDIA		9.8	9.8			
	MÁXIMO		9.9				
	ı	1			1	1	
A/C	A/C C P		RESISTÊNCIA (MPa)		AMOSTRA		TRAÇO
-	1		8.2				
	2		8.2		CR 100		
0.99	3		8.3				1:6
-	MÉDIA		8.2				
	MÁXIMO		8.3				

A/C	CP	RESISTÊNCIA (MPa)	AMOSTRA	TRAÇO
	1	17.8	REFERÊNCIA	
	2	17.7		
0.60	3	17.8		1:4
	MÉDIA	17.8		
	MÁXIMO	17.8		