



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**COORDENAÇÃO DE ESTÁGIO**

## **RELATÓRIO DE ESTÁGIO**

### **SUPERVISIONADO**

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE  
CONCRETO FABRICADOS COM ENTULHO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

**RESPONSÁVEL: Prof.º Dr. João Batista de Queiroz de Carvalho**

**ALUNO: Camilo Allyson Simões de Farias**

**PERÍODO: Abril de 2002 à Setembro de 2002**

Campina Grande, 09 de Setembro de 2002.

# RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BLOCOS ESTRUTURAIS DE  
CONCRETO FABRICADOS COM ENTULHO DA CONSTRUÇÃO CIVIL

*Camilo Allyson Simões de Farias. MAT.: 29811205*

---

Camilo Allyson Simões de Farias  
(Estagiário - Aluno de Engenharia Civil)

*João Batista Queiroz de Carvalho*

---

João Batista Queiroz de Carvalho  
(Orientador de Estágio Supervisionado)



Biblioteca Setorial do CDSA. Julho de 2021.

Sumé - PB

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	04
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	06
2.1. Entulho: Um breve histórico.....	06
2.2. Origem e composição do entulho.....	07
2.3. Construção Civil: maior consumidor de recursos naturais e maior gerador de resíduos.....	07
2.4. Normalização.....	08
2.5. Vantagens da reciclagem de entulho.....	08
2.6. Reciclagem de entulho no canteiro de obra.....	09
2.7. Programas de Qualidade.....	10
2.8. Concreto.....	10
2.8.1. Importância da relação água/cimento.....	11
2.8.2. Outros fatores que influenciam na resistência do concreto.....	11
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1. Absorção.....	18
4.2. Resistência à Compressão Simples.....	20
5. CONCLUSÃO.....	22
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

## TABELAS

Tabela I – Caracterização do Cimento Portland.....	12
Tabela II – Granulometria do Agregado Miúdo (areia).....	13
Tabela III – Granulometria do Agregado Graúdo (cascalho).....	13
Tabela IV – Granulometria do Entulho.....	14
Tabela V – Identificação das Amostras Ensaçadas (Traço 1:4).....	15
Tabela VI – Identificação das Amostras Ensaçadas (Traço 1:6).....	16

## FIGURAS

Figura I – Entulho.....	14
Figura II – Composição do Entulho.....	14
Figura III (a) – Absorção das Composições (Traço 1:4) .....	18
Figura III (b) – Absorção das Composições (Traço 1:6) .....	18
Figura IV (a) – Resistência à Compressão Simples das Composições (Traço 1:4)...	20
Figura IV (b) – Resistência à Compressão Simples das Composições (Traço 1:6)...	20

## 1. INTRODUÇÃO

A acumulação de entulho de construções é um problema que vêm desde a Antigüidade, e desde lá se tem a idéia de reaproveitamento destes resíduos. Porém, o aprofundamento em pesquisas que levaram a sua melhor utilização só veio surgir no século XX, com o uso em misturas como parte de agregados e até como componente de aglomerantes.

Em busca de materiais alternativos para a construção civil, os países subdesenvolvidos têm desenvolvido estudos sobre a reciclagem de materiais a fim de reduzir os custos das obras. A reciclagem de resíduos de edificações tem obtido resultados positivos que justificam os investimentos em novas tecnologias e tem se disseminado com rapidez em vários países (desenvolvidos e subdesenvolvidos), destacando-se entre eles: França, Japão, Itália, Alemanha e Brasil (CINCOTTO, 1989; PINTO, 1994).

Segundo JOHN & AGOPYAN (1999), do ponto de vista técnico, as possibilidades de reciclar o entulho varia de acordo com sua composição. Uma das vantagens da reutilização do entulho diz respeito à substituição, em grande parte, dos agregados naturais empregados na produção de concreto, blocos e base de pavimento, além da não ocupação de espaço em aterros sanitários.

As principais aplicações do entulho na construção civil estão associadas ao uso direto em aterros, preenchimento de vazios em construções ou bota-foras. O entulho pode também ser beneficiado para ser utilizado como agregado em concretos, em pavimentos rodoviários, em peças pré-moldadas ou em argamassas.

Seguindo esse preceito, o presente estágio tem como objetivo principal avaliar o desempenho de blocos estruturais fabricados com concretos alternativos com uso de entulho da construção civil. Pretende-se aumentar a credibilidade dos processos de transformação de resíduos estáveis para a confecção de componentes utilizados na construção civil e, ao mesmo tempo, minimizar o desperdício nesse setor, contribuindo para reduzir os problemas de caráter ambiental envolvidos na questão.

A avaliação do desempenho dos blocos estruturais está baseada em ensaios de resistência à compressão simples ( $>4,5\text{MPa}$ ) e absorção de água ( $<10\%$ ), considerando os parâmetros da norma NBR 6136 (1994) da ABNT. A idéia foi realizar comparações entre várias amostras com material alternativo, variando os teores de entulho em substituição aos agregados naturais, tendo sempre os blocos estruturais confeccionados com concreto convencional como referência.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Entulho - Um breve histórico

A construção civil é uma das atividades mais antigas que se tem conhecimento e desde os primórdios da humanidade foi executada de forma artesanal, gerando como subproduto grande quantidade de entulho mineral. Tal fato despertou a atenção dos construtores, já na época da edificação das cidades do Império Romano, e daquela época datam os primeiros registros de reutilização de resíduos minerais da construção civil na produção de novas obras. Entretanto, só em 1928 essas reutilizações começaram a ser desenvolvidas de forma sistemática, avaliando o consumo de cimento, a quantidade de água e o efeito da granulometria dos agregados, oriundos de alvenaria britada e de concreto.

A primeira aplicação significativa de entulho reciclado só foi registrada após a 2ª Guerra Mundial, na reconstrução das cidades européias, que tiveram seus edifícios totalmente demolidos e o escombros ou entulho resultante, foi britado para produção de agregados visando atender a demanda na época (WEDLER & HUMMEL, 1946). Assim, pode-se dizer, que a partir de 1946 teve início o desenvolvimento da tecnologia de reciclagem do entulho de construção civil.

No Brasil, a reciclagem do entulho começou a ser estudada por Tarcísio de Paula Pinto a partir de 1983, mas só no final de 1995 começaram a operar em escala industrial as primeiras usinas de reciclagem (FLAUZINI, 1998).

No Estado da Paraíba, na Universidade Federal da Paraíba/CCT - Campus II, estudos sobre reciclagem de entulho como também a sua reutilização teve início a partir de 1996 e desde então vários trabalhos científicos foram publicados, inclusive uma dissertação de mestrado defendida (AMORIM, 1998). Atualmente existem vários trabalhos e uma tese de Doutorado em desenvolvimento relacionados com o assunto na UFPB.

## 2.2. Origem e composição do entulho

O entulho é provavelmente o mais heterogêneo dentre os resíduos industriais. Ele é constituído de restos de praticamente todos os materiais de construção (argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeira, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos, tintas, etc.) e sua composição química está vinculada à composição de cada um de seus constituintes (PINTO, 1994).

Praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de entulho. Os entulhos surgem em três tipos de obras, eles são classificados simplifadamente segundo a origem em: entulho de construção, de demolição e de reforma (ZORDAN, 1989).

O resíduo de construção e demolição (ou simplesmente entulho), possui características bastante peculiares. Por ser produzido num setor onde há uma gama muito grande de diferentes técnicas e metodologia de produção e cujo controle da qualidade do processo produtivo é recente, características como composição e quantidade produzida dependem diretamente do estágio de desenvolvimento da indústria de construção local (qualidade da mão de obra, técnicas construtivas empregadas, adoção de programas de qualidade, etc.) (PINTO, 1994).

Comparados a outros resíduos, os da construção civil são menos preocupantes por serem inertes. Mas, devido a grande quantidade em que são encontrados, não podem ser ignorados. Estima-se que no Brasil a perda de materiais pode chegar a 20% em sistemas construtivos convencionais, sendo ainda que o impacto do desperdício de materiais no custo da construção brasileira chega a atingir o valor de 6%. (PINTO, 1994).

## 2.3. Construção civil: maior consumidor de recursos naturais e maior gerador de resíduos

A construção civil é responsável por 15 a 50% do consumo de recursos naturais extraídos. O consumo de agregados naturais varia entre 1 e 8 toneladas/habitante.ano. Em volta das grandes cidades, os agregados naturais começam a ficar escassos, inclusive graças ao crescente controle

ambiental da extração das matérias primas. Em São Paulo, por exemplo, a areia natural, em sua grande maioria viaja distâncias superiores a 100 Km, elevando o custo para valores em torno de R\$ 25/m<sup>3</sup> (ZORDAN, 1999).

A construção civil é certamente o maior gerador de resíduos de toda sociedade. O volume de entulho de construção e demolição gerado é até duas vezes maior que o volume de lixo sólido urbano. Em São Paulo o volume de entulho gerado é de 2.500 caminhões por dia. Na Finlândia o volume de entulho é o dobro do lixo sólido urbano. Os valores internacionais oscilam entre 0,7 a 1 tonelada/habitante.ano (ZORDAN, 1999).

Em cidades brasileiras a maioria destes resíduos é depositada clandestinamente. Estes aterros clandestinos têm obstruído córregos e drenagens, colaborando em enchentes, favorecendo a proliferação de mosquitos e outros vetores, etc.; levando boa parte das prefeituras a gastar grande quantidade de recursos públicos na sua retirada (ZORDAN, 1999).

#### 2.4. Normalização

Quanto à normalização existente em nosso país, foi publicado recentemente a norma elaborada pelo CB - 02 Comitê Brasileiro de Construção Civil (NBR - 2.02.17.004) que no seu item 3.3.3. (Termos relativos a adições) define o entulho reciclado como material proveniente da moagem de argamassas endurecidas, blocos cerâmicos, blocos de concreto ou tijolinhos maciços.

#### 2.5. Vantagens da reciclagem de entulho

Estudos recentes têm sido realizados sobre reciclagem de resíduos sólidos principalmente nos países subdesenvolvidos que não podem arcar com uma industrialização rápida. Em busca de materiais alternativos a construção civil é a área tecnológica mais indicada para absorver estes resíduos, devido à contribuição que eles podem trazer na redução dos custos das obras (CINCOTTO, 1989; PINTO, 1994).

Segundo PINTO (1994), os materiais reciclados podem gerar produtos com custos inferiores ao preço médio dos produtos convencionais, podendo-se produzir componentes construtivos, que dependendo da sofisticação tecnológica, terão custos entre 45% e 75% inferiores ao preço de mercado.

Reciclar o entulho, independente do uso que ele for dado, representa vantagens econômicas, sociais e ambientais, tais como:

1. economia na aquisição de matéria-prima, devido a substituição de materiais convencionais pelo entulho;
2. diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas conseqüências negativas como enchentes e assoreamento dos rios e córregos;
3. preservação das reservas naturais de matéria prima.

A utilização de resíduos como matéria prima reduz a quantidade de recursos naturais retirados do meio ambiente. O entulho de construção reciclado pode substituir em grande parte os agregados naturais empregados na produção de concreto, blocos e base de pavimentação (MARQUES & TANGO, 1994).

## 2.6. Reciclagem de entulho no canteiro de obra

Na reciclagem do entulho no próprio canteiro de obra (desde 1985, no sul e sudeste do Brasil, particularmente em São Paulo), tem sido utilizado um moinho de rolos que além de transformar todas as sobras da obra de origem mineral em agregados miúdos com granulometria controlada (em função do tempo de moagem), opera também como betoneira de eixo vertical, misturando agregados e aglomerantes para produção de argamassas para assentamento de alvenarias, revestimento e enchimento de piso (CAMARGO, 1995).

## 2.7. Programas de qualidade

O processo de implementação de programas de qualidade pelo qual passa a indústria da construção certamente contribuirá para a redução do volume de resíduos gerados por esse setor. No entanto, a quantidade de entulho produzida não diminuirá de uma hora para outra.

Além disso, por mais eficaz que sejam as mudanças introduzidas nos processos construtivos, com o objetivo de reduzir os custos e a quantidade de resíduos gerados, sempre haverá um montante inevitavelmente produzido, que somado aos resíduos de demolição ainda representará um volume expressivo.

Dessa forma, o estudo das soluções práticas que apontem para a reutilização do entulho na própria construção civil ao mesmo tempo em que contribui para amenizar o problema urbano dos depósitos clandestinos, proporcionando melhorias do ponto de vista ambiental, introduz no mercado um novo material com grande potencialidade de uso e de menor custo (ZORDAN, 1999). No entanto, é preciso cuidado com a simples substituição dos materiais convencionais pelos reciclados, pois é importante saber que se trata de um material alternativo e, portanto com limitações (MULLER & BUCHER, 1993).

## 2.8. Concreto

Concreto é uma mistura de agregados miúdos e graúdos, cimento e água. Estes três materiais, reunidos e bem misturados, constituem uma massa plástica que endurece no fim de algumas horas, transformando-se em verdadeira pedra artificial com o decorrer do tempo. O estudo de dosagem para a confecção do concreto, definindo as proporções entre os materiais, principalmente as do cimento e da água, constitui assunto importante para o engenheiro e mestre-de-obras. Essas proporções podem ser relacionadas tanto em massa quanto em volume de material misturado (TATURCE & GIOVANNETTI, 1990).

### 2.8.1. Importância da relação água /cimento

A resistência mecânica de um dado concreto diminui consideravelmente se a quantidade de água a ser colocada na mistura (argamassa ou concreto) ultrapassar a ideal para obter a hidratação do cimento, levando em conta também uma adequada trabalhabilidade da massa. Isso ocorre porque quando a água em excesso evapora da massa ficam vazios deixados por ela, logo quanto maior for a quantidade de água acima da quantidade ideal, maiores serão as quantidades de vazios e, portanto mais fraca será a massa. Assim, deve-se estabelecer uma relação água/cimento otimizada, sendo que a massa deve apresentar boas qualidades de plasticidade e trabalhabilidade (TATURCE & GIOVANNETTI, 1990).

### 2.8.2. Outros fatores que influenciam na resistência do concreto

- a) Qualidade da Água - a água não deverá conter elementos que perturbem as reações de endurecimento, como óleo, ácido, etc.
- b) Impurezas no Agregado - a existência de matéria orgânica e de argila, além de certos limites, enfraquece a pasta e, portanto diminui resistência do concreto.
- c) Grau de Amassamento - o amassamento é indispensável para produzir a boa mistura entre as partículas de cimento e a água. Um bom amassamento distribui uniformemente a pasta de cimento na superfície dos grãos e nos vazios do agregado.
- d) Modo de Conservação (cura) - A evaporação muito rápida da água de amassamento do concreto e da argamassa interrompe a marcha do endurecimento, impedindo a realização completa da reação química entre o cimento e a água. A temperatura ambiente tem também grande influência sobre a velocidade das reações de hidratação: o calor é favorável, mas é preciso manter o concreto sempre úmido. O frio é desfavorável podendo, quando intenso, paralisar as reações do cimento (TATURCE & GIOVANNETTI, 1990).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização da pesquisa utilizaram-se os seguintes materiais, além da água potável fornecida pela concessionária local:

Cimento Portland (ligante): adotou-se o tipo CP II Z 32 da marca Zebu, facilmente encontrado no comércio local (Campina Grande/PB). A massa específica é  $2,94\text{g/cm}^3$  e o Blaine é  $3.845\text{cm}^2/\text{g}$ . Outras características desse cimento são apresentadas na Tabela I.

TABELA I – Caracterização do cimento Portland CP II Z 32 utilizado nessa pesquisa Fonte: CIMEPAR – Companhia Paraibana de Cimento Portland

	Especificações	Resultados (%)
Perda ao Fogo	$\leq 6,5$	6,14
SiO <sub>2</sub>	-	21,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	7,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	2,17
Cão	-	27,30
MgO	$\leq 6,5$	4,69
SO <sub>3</sub>	$\leq 4,0$	2,35
Cão livre	-	1,24
Resíduo Insolúvel	$\leq 16,0$	8,05
Finura Malha nº 200	$\leq 12,0$	3,8

Agregado miúdo: a areia utilizada é do rio Paraíba, classificada como fina (zona 2) e atende ao critério relacionado ao teor não inferior a 50% na soma das percentagens retidas nas peneiras (#) 0,15mm e 0,30mm. Esse critério é importante para propiciar melhor acabamento na superfície dos blocos pré-moldados. Conforme ensaio de granulometria a areia tem  $D_{\text{máx}}=2,4\text{mm}$  e Módulo de Finura=2,24 (Tabela II).

TABELA II - Granulometria do agregado miúdo (areia) – NBR 7217 (1982)

# (mm)	Material retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
9,5	0,45	0,45	99,55
4,8	0,41	0,86	99,14
2,4	1,45	2,31	97,69
1,2	5,52	7,83	92,17
0,6	23,79	31,62	68,38
0,3	50,83	82,45	17,55
0,15	15,88	98,33	1,67
Resto	1,67	100,00	0,00

Agregado graúdo: trata-se de um cascalho (pedrisco) que foi escolhido a partir de algumas amostras obtidas nas pedreiras locais, sendo importante que o mesmo não tivesse pó de pedra depositado nas partículas. O ensaio de granulometria forneceu um  $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$  e Módulo de Finura=5,3 (Tabela III).

TABELA III - Granulometria do agregado graúdo (cascalho) – NBR 7217 (1982)

# (mm)	Material retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
9,5	0,80	0,80	99,20
4,8	55,17	55,97	44,03
2,4	30,25	86,22	13,78
1,2	5,57	91,79	8,21
0,6	3,18	94,97	5,03
0,3	1,99	96,96	3,04
0,15	1,57	98,53	1,47

Agregado alternativo: o entulho da construção civil utilizado neste estudo foi proveniente de obras de edificações de Campina Grande/PB. Considerando a variabilidade do agregado de entulho em função de sua origem (demolição, reforma ou construção), decidiu-se trabalhar apenas com entulho de construção. Para isso, foram coletadas amostras de entulho de edifício residencial, com 12 pavimentos, padrão "A", que tinha estrutura executada

em concreto armado e a vedação dos vãos com tijolos cerâmicos de 8 furos, seguido de revestimento argamassado internamente (as áreas molhadas com revestimento cerâmico) e revestimento cerâmico nas fachadas. O entulho coletado representa o resíduo gerado na fase intermediária entre elevação de alvenaria nos pavimentos e aplicação de acabamento externo. Na Figura I apresenta-se uma foto do entulho coletado e na Figura II ver-se a composição do entulho avaliado neste trabalho.



Figura I – Entulho

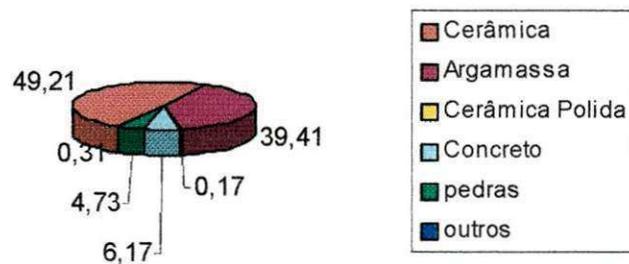


Figura II – Composição do Entulho

Apresenta-se na Tabela IV a granulometria do entulho após ser triturado que resultou com  $D_{m\acute{a}x}=9,5\text{mm}$  e Módulo de Finura=3,08.

TABELA IV – Granulometria do entulho – NBR 7217 (1982)

# (mm)	Material retido		% que passa da amostra total
	% Amostra total	% Acumulada	
9,5	2,08	2,08	97,92
4,8	15,17	17,25	82,75
2,4	14,77	32,02	67,98
1,2	11,27	43,29	56,71
0,6	13,22	56,51	43,49
0,3	14,64	71,15	28,85
0,15	17,86	89,01	10,99

A partir de resultados de ensaios preliminares decidiu-se moldar blocos obedecendo a seguinte relação entre os agregados naturais: 50% de agregado miúdo e 50% de agregado graúdo. Essa proporção foi a que

resultou na melhor compacidade entre os agregados em questão, determinado segundo o ensaio de massa unitária no estado compactado seco. Adotaram-se os traços 1:4 e 1:6 (uma parte de ligante para 4 (quatro) e seis (6) de agregados respectivamente), em massa, para a moldagem de blocos estruturais convencionais (sem entulho) e alternativos (com entulho).

Foram feitas substituições do total de agregados na dosagem pelo entulho triturado com apenas a limitação de que o diâmetro máximo ( $D_{m\acute{a}x}$ ) do agregado de entulho deveria ser igual ao  $D_{m\acute{a}x}$  do agregado graúdo natural (cascalho). Dessa forma, as substituições foram estabelecidas como sendo 30%, 60% e 100% em relação à massa total dos agregados naturais (areia e cascalho). A proporção entre os dois agregados naturais (areia e cascalho) sempre permaneceu na relação de 50%.

Para a determinação da relação água / cimento ideal de cada composição, com diferentes teores entulho, foram realizados ensaios variando-se a relação a/c (três para cada traço). Para cada relação a/c foram moldados 3 (três) blocos, sendo que foram determinadas as suas respectivas massas e resistências à compressão simples. Observou-se também o critério do teste da mão (que consiste em formar com as mãos um "bolo" que mantivesse sua forma inalterada ao abrir a mão) e a presença dos veios d'água nos blocos logo após a moldagem. A partir desses fatores escolheu-se a relação a/c de maior resistência à compressão simples para cada composição.

Nas Tabelas V e VI estão apresentados os traços e as respectivas relações água/cimento.

TABELA V – Identificação das amostras ensaiadas (Traço 1:4)

Traço (em massa)		1 : m		
		1 : 4		
Convencional	E0	1 : a : p :	a/c	
				1 : 2 : 2
		Teor de entulho nas misturas		
Alternativos	E30	30 %	1 : 1,4 : 1,4 : 1,2	0,47
	E60	60 %	1 : 0,8 : 0,8 : 2,4	0,60
	E100	100 %	1 : 0,0 : 0,0 : 4,0	0,72

Obs.: m = total de agregados; a = areia; p = cascalho (pedrisco); e = agregado de entulho triturado.

TABELA VI – Identificação das amostras ensaiadas (Traço 1:6)

Traço (em massa)	1 : m		
	1 : 6		
Convencional	E0	1 : a : p :	a/c
		1 : 3 : 3	0,49
		Teor de entulho nas misturas	1 : a : p : e
Alternativos	E30	30%	1 : 2, 1 : 2, 1 : 1, 8 0,64
	E60	60%	1 : 1, 2 : 1, 2 : 3, 6 0,79
	E100	100%	1 : 0, 0 : 0, 0 : 6, 0 0,93

Obs.: m = total de agregados; a = areia; p = cascalho (pedrisco); e = agregado de entulho triturado.

Os blocos foram moldados em máquinas do tipo vibro prensa, com precisão de 0,5mm e tempo de vibração em 30 segundos, pois nestas máquinas não há conjugação de vibração com prensagem. O bloco com função estrutural tem dimensões 39cm x 19cm x 20cm (comprimento, largura e altura, respectivamente).

Durante a preparação da massa foram tomados alguns cuidados para que ela fosse utilizada no período máximo de 30 minutos. Procurou-se também evitar que ela ficasse exposta à ação do sol e do vento, pois é necessário evitar a evaporação da água na mistura. A falta de água trará prejuízos a hidratação dos grãos de cimento e conseqüentemente ao ganho de resistência a compressão ao longo do tempo.

Logo após a moldagem dos blocos, eles foram colocados em câmara úmida com temperatura  $T=23^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa  $\text{UR}>95\%$ , onde permaneceram por aproximadamente 24 horas. Após este período, os blocos foram imersos em tanque com água, dando continuidade ao regime de cura até as respectivas idades de controle.

Após a retirada dos blocos do tanque de imersão, estes foram capeados com uma pasta composta de cimento e água, procurando obter no bloco superfícies bem planas antes de ser submetido aos ensaios de  $f_c$  (Resistência à Compressão Simples). A superfície plana é importante para evitar concentração de carga sobre o bloco durante o ensaio, o que traria prejuízos aos resultados.

Os ensaios de resistência à compressão simples ( $f_c$ ) foram realizados no Laboratório de Solos I do DEC-CCT-UFPB de acordo com a Norma <sup>(7)</sup>, para cada traço e idade de cura estudado.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Absorção

Os resultados de absorção dos traços 1:4 e 1:6, com 7 e 28 dias de cura, estão apresentados nas Figuras III (a), III (b).

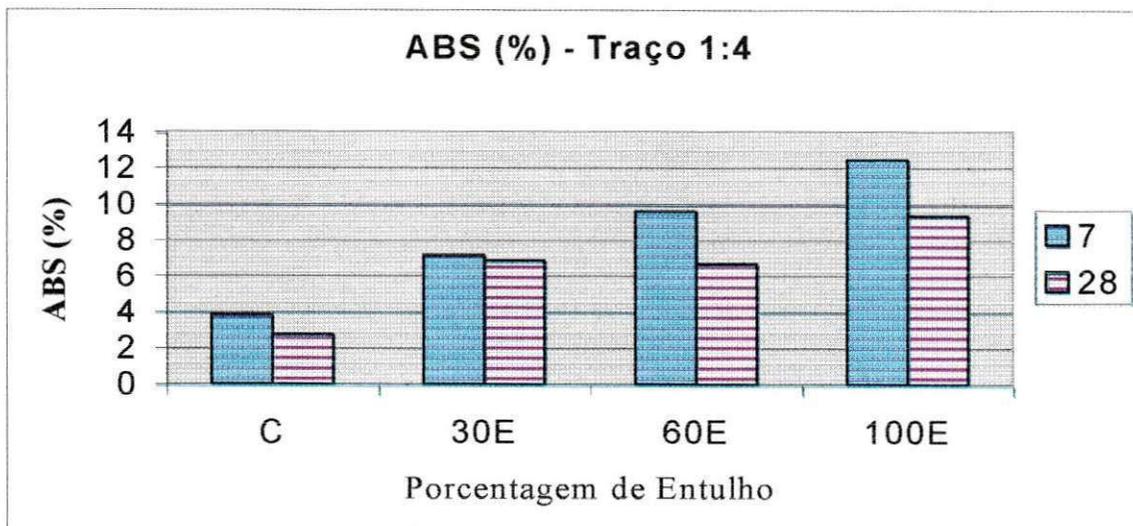


Figura III (a) – Absorção (traço 1:4) com 7 e 28 dias de cura

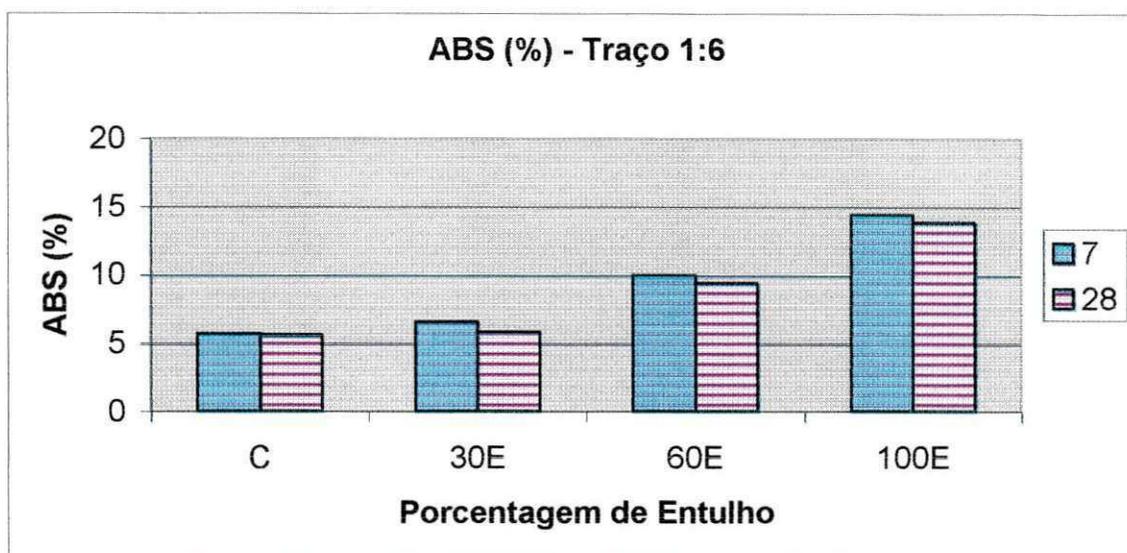


Figura III (b) – Absorção com 7 e 28 dias de cura (traço 1:6)

De acordo com as curvas apresentadas nas Figuras III (a) e III (b) ver-se que, em todos os casos, ao aumentar-se o tempo de cura dos blocos,

diminui-se a absorção de água. Esse comportamento está coerente, pois a tendência natural com o progresso da hidratação (aumento do tempo de cura) do cimento Portland é o preenchimento dos poros (diminuição dos vazios) na microestrutura do concreto que repercute na redução da absorção dos blocos avaliados.

Observa-se ainda, na maioria dos casos, que quanto maior a porcentagem de entulho presente nos concretos alternativos maior é a absorção de água. Nesse caso, o aumento da relação água/cimento ( $a/c$ ), que ocorre na medida em que se aumenta o teor de entulho nos concretos alternativos, justifica uma maior porosidade que se reflete numa crescente absorção de água para os blocos alternativos, na ordem 30%, 60% e 100% de entulho incorporado.

Vale destacar que as absorções de água dos traços estudados, correspondentes à idade de 28 dias, são inferiores ao limite máximo pré-estabelecido pela Norma da ABNT NBR 6136/94 ( $Abs < 10\%$ ), com a exceção do lote com 100% de entulho incorporado, traço 1:6. Portanto, analisando o critério de absorção de água, tem-se que todos os lotes são aceitáveis, com a exceção do lote citado anteriormente.

#### **4.2. Resistência à Compressão Simples**

A seguir, nas Figuras IV (a) e IV (b), estão os resultados de resistência à compressão simples dos traços 1:4 e 1:6 com 7 e 28 dias de cura.

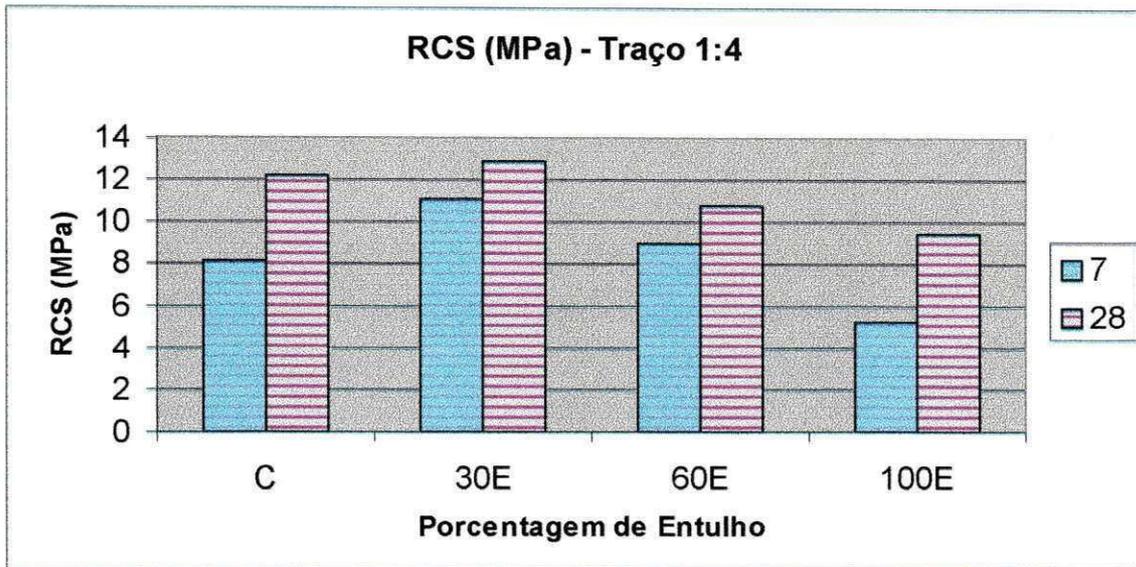


Figura IV (a) – Resistência à Compressão Simples com 7 e 28 dias de cura (traço 1:4)

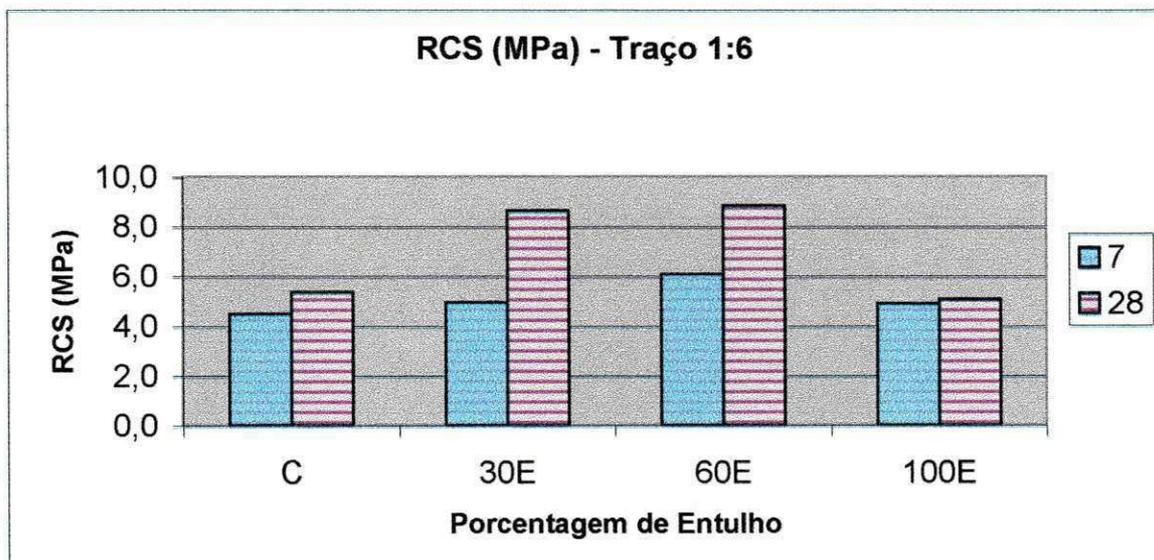


Figura IV (b) – Resistência à Compressão Simples com 7 e 28 dias de cura (traço 1:6)

Observando as Figura IV (a) e IV (b) tem-se:

1. O aumento da proporção de entulho na mistura provocou um aumento da relação água/cimento para todas as composições,

devido à absorção de água pelo próprio entulho. A água não absorvida pelo entulho participará das reações químicas com o cimento e funcionará como lubrificante para dar maior trabalhabilidade, melhorando o adensamento dos blocos, que também é influenciado pelas condições de vibração da máquina utilizada.

2. A resistência cresce à medida que se aumenta o teor de entulho (e conseqüentemente, a quantidade de água, devido à alta absorção do entulho) e depois de um certo ponto começa decrescer.
3. O ganho de resistência com o aumento da quantidade de água é provocado pelo melhor adensamento fornecido pela máquina nestas condições. Para fornecer o adensamento ideal ao bloco é necessário adicionar água para suprir as reações químicas do cimento, a trabalhabilidade, a absorção dos agregados naturais (de pouca significância) e a absorção do entulho. O comportamento final de decrescimento de resistência ocorre devido ao não adensamento ideal das amostras com maiores teores de entulho. Isso se deve a não moldagem adequada com relações água/cimento maiores (necessárias ao adensamento ideal destes blocos), pois a desmoldagem tornou-se impossível devido à ligação da massa às paredes da forma, fazendo com que fossem utilizadas relações água/cimento inferiores a ideal.
4. Vale destacar que as resistências à compressão simples, correspondentes às idades de 7 e 28 dias, são superiores ao limite mínimo pré-estabelecido pela Norma da ABNT NBR 6136/94 ( $f_c > 4,5$  MPa). Portanto, analisando o critério de resistência à compressão simples, tem-se que todos os lotes são aceitáveis.

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- o aumento do teor de entulho provocou o aumento da relação a/c devido à presença de materiais de alta absorção no mesmo, tais como: argamassa moída, material cerâmico, etc.
- As maiores resistências aos 28 dias ocorreram no traço 1:4 com 30% de entulho incorporado e no traço 1:6 com 60% de entulho incorporado.
- todos os blocos moldados apresentaram resultados aceitáveis pela Norma da ABNT - NBR 6136/94 aos 28 dias de cura, com exceção do lote do traço 1:6 com 100% de entulho, que não obteve absorção adequada.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Bloco Vazado de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural – Especificação, NBR 6136 (1994).
- 2) ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Determinação da Composição Granulométrica dos Agregados - Método de Ensaio, NBR 7217, (1982).
- 3) ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Determinação da Massa Específica do Agregado Miúdo - Método de Ensaio, NBR 9776, (1987).
- 4) ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Determinação da Massa Unitária - Agregado em Estado Compactado Seco - Método de Ensaio, NBR 7810, (1983).
- 5) ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Bloco Vazado de Concreto Simples para Alvenaria com Função Estrutural – Método de Ensaio, NBR 7186, (1982).
- 6) CAMARGO, A., Reciclagem de Entulho da Construção Civil, *Téchne*, N.º 15, março/abril, 1995.
- 7) CINCOTTO, M. A. Mineração e Mecanismo de Ativação e Reação das Pozolanas de Argilas Calcinadas, Dissertação de Mestrado, Instituto de Geo-Ciência da USP, São Paulo, 1989.
- 8) FLAUZINI, W. D. Durabilidade dos Materiais e Componentes das Edificações, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São

Paulo S/A (IPT), Tecnologia das Edificações, Editora PINI, São Paulo, 1998.

- 9) MARQUES, J.C.; TANGO, C. E. S. Reciclagem de Resíduos para Redução de Custos na Construção Habitacional, Seminário, 11-12 de Julho de 1994, Belo Horizonte.
- 10) MULLER, M. S. K. e BUCHER, H. R. E., Argamassas Industrializadas para Revestimento de Superfícies e Assentamento de Alvenaria, Anais de Encontro "Argamassas Industrializadas - Usos e Desempenho", São Paulo, 1993.
- 11) PINTO, T. P. Utilização de Resíduos de Construção. Estudo do uso de Argamassas, São Carlos, 1994. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, 148p, Departamento de Arquitetura e Planejamento. Universidade São Paulo.
- 12) TARTUCE, Ronaldo; GEOVANNETTI, Edio. Princípios Básicos Sobre Concreto de Cimento Portland. 1.<sup>a</sup> Edição. São Paulo: PINI: IBRACON, 1990.
- 13) WEDLER, B.; HUMMEL A. Trümmerverwertung und Ausbau von Brandruinen. Wilhelm Ernest & Sohn, Berlin, 1946.
- 14) ZORDAN, Sérgio Eduardo. Entulho da Indústria da Construção Civil. Ficha técnica - textos "site" - <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/> - 05-05-1999.
- 15) ZORDAN, Sérgio Eduardo e PAULON, Vladimir A.. A Utilização do Entulho como Agregado para Concreto. Texto técnico "site" - <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/> - 15-06-1999. - resumo de defesa de Tese de Mestrado - 1997.z