

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

**MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS COM A UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) COMO AGREGADOS
NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO**

André Luiz Duque Brunini Patto

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté, para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Taubaté – S.P.

2006

**MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS COM A UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) COMO AGREGADOS
NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO**

ANDRÉ LUIZ DUQUE BRUNINI PATTO

Arquiteto e Urbanista

Orientador: Prof. Dr. **MÁRCIO JOAQUIM ESTEFANO DE OLIVEIRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté, para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Taubaté – S.P.

2006

**MINIMIZAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS COM A UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO (RCD) COMO AGREGADOS
NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO**

ANDRÉ LUIZ DUQUE BRUNINI PATTO

Dissertação aprovada em 22/03/2006.

Banca Examinadora:

Membro	Instituição
Prof. Dr. Marcio Joaquim E. de Oliveira	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Prof. Dr. Paulo Fortes Neto	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Prof. Dr. Salomon Mony Levy	Universidade Nove de Julho – Dep. Exatas

Prof. Dr. Marcio Joaquim Estefano de Oliveira

Orientador

Dedico este trabalho a minha esposa Tânia pela compreensão, pelo carinho e pela força nas horas que mais precisei.

E a meus filhos Matheus e Thiago na esperança de que todo o esforço e a falta de tempo para com eles, tão importantes em minha vida, possam se converter em aprendizado e sabedoria, e assim servir de estímulo a eles em um futuro próximo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a meu pai, por procurar mostrar mesmo quando não entendia que o melhor caminho a seguir é o da educação e do aprendizado, pois se não fosse por ele não teria a chance de desenvolver esta pesquisa. Agradecer por tudo que representa em minha vida, exemplo a ser seguido.

Agradecer também ao Prof. Dr. Márcio Joaquim Estefano de Oliveira, primeiro por ter me aceito como seu orientando, pois não poderia haver pessoa mais apta e preparada como orientador, para o tipo de orientação que precisava. Sempre se mostrando uma pessoa tranqüila, mesmo nas horas mais difíceis, pois sabedor de seu conhecimento, e de sua capacidade, sempre fez tudo correr dentro da normalidade tornando mais fácil à conclusão deste trabalho.

A todos os colegas do curso, pela amizade, pelo carinho, compreensão e colaboração que sempre foram marcas desta turma. Guardarei boas lembranças.

Aos técnicos do laboratório de engenharia civil Jurandir e Renato, pela paciência e pelo empenho com que trataram dos testes e ensaios que lá foram realizados.

Ao amigo Renato, que me incentivou a ingressar neste curso, o qual resultou num aprendizado além do esperado, a final, conhecimento é algo que ninguém nos tira, se acumula e se leva para sempre.

Em especial aos amigos Nelson e Eduardo, pela ajuda, pelas trocas de informações e pelas palavras de apoio nas horas certas. Ao Eng. Paulo do DSU, pela alegria, atenção e disposição com que colaborou no fornecimento de dados para que a pesquisa fosse realizada.

A toda minha família que sempre me apoiou, e sempre se mostrou tão interessada.

E finalmente aos meus pais, Dalto e Maria Lucia, que em conjunto são os responsáveis por tudo o que sou, e por tudo o que aprendi a ser nesta vida, sempre dando exemplo de vida e mostrando o valor dos bens conquistados. Nunca poupando esforços para que os sonhos dos filhos fossem realizados.

A todos. Muito Obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE QUADROS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivos Gerais	5
2.2 Objetivos Específicos	5
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
3.1 Resíduos da Construção Civil	14
3.2 Reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição	16
3.3 Composição dos Resíduos de Construção e Demolição (Entulho)	17
3.4 Descarte dos Resíduos nas cidades	21
3.5 Resolução CONAMA 307	25
3.6 Reaproveitamento dos resíduos reciclados	26
3.7 Economias Proporcionadas	28
3.8 Equipamentos para reciclagem	29
3.9 Relação custo / benefício dos materiais reciclados quando comparados aos materiais tradicionais e suas relações com o meio ambiente	31
3.9.1 Blocos de concreto produzidos com resíduos de construção e demolição	32
3.9.2 Relação dos agregados com o meio ambiente	33
4. MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 Resíduos descartados na cidade de Taubaté	36
4.2 Resolução Conama 307	36
4.3 Caracterização dos materiais	36
4.3.1 Materiais empregados	37
4.3.2 Caracterização dos Agregados Naturais	37
4.3.2.1 Origem da areia de rio	38

4.3.2.2 Origem da Brita 0	38
4.3.3 Caracterização do Aglomerante	39
4.3.3.1 Cimento Portland	39
4.3.3.2 Ensaio	40
4.3.4 Agregados Naturais Selecionados	40
4.3.4.1 Ensaio	41
4.3.5 Agregados Reciclad	41
4.3.5.1 Ensaio	43
4.4 Caracterização do concreto	44
4.5 Propriedades dos blocos analisados	46
4.6 Minimização de impactos ambientais pelo uso do agregado reciclado	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
5.1 Resíduos de construção e demolição descartados na cidade de Taubaté	51
5.2 Cumprimento da Resolução Conama	53
5.3 Resultado da Caracterização dos Constituintes do Concreto	54
5.4 Dosagem do concreto	56
5.4.1 Resultados das dosagens dos concretos confeccionados	60
5.4.2 Resultados dos ensaios com os blocos de concreto confeccionados	61
5.4.3 Resultados da absorção de água nos blocos	63
5.4.4 – Resultados obtidos pelo emprego do agregado reciclado	65
6. CONCLUSÃO	67
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
NORMAS TÉCNICAS CITADAS	78
APÊNDICE	81

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Entulho jogado em terreno baldio.....	08
2	Entulho na calçada.....	08
3	Entulho no passeio.....	09
4	Entulho jogado na beira da estrada.....	09
5	Entulho descartado próximo a córrego.....	15
6	Composição média dos entulhos descarregados no aterro de Itatinga – PMSP.....	20
7	Composição média do entulho, em massa (Campinas – SP).....	21
8	Quantidade de entulho em relação ao total de resíduos em Aterros públicos. (% em massa).....	24
9	Equipamentos necessários para reciclagem dos RCD.....	30
10	Planta de uma unidade recicladora de materiais. (Campinas – S.P.).....	31
11	Agregado reciclado – brita 1 e 2.....	42
12	Usina de reciclagem.....	43
13	Abatimento do tronco do cone.....	44
14	Corpos de prova rompidos.....	44
15	Rompimento de corpos de prova.....	45
16	Carga aplicada – resistência obtida.....	45
17	Blocos reciclados.....	47
18	Blocos convencionais.....	47
19	Execução do capeamento.....	48
20	Conferência do prumo.....	48
21	Bloco reciclado capeado.....	48
22	Blocos capeados.....	48
23	Teste de resistência.....	49

24	Momento do rompimento.....	49
25	Entulho descartado em aterro.....	52
26	Caçamba despejando entulho.....	52
27	Aterro de Taubaté.....	54
28	Entulho nas ruas internas.....	54
29	Preparo da mistura.....	57
30	Realização do Slump-test – variação de 0 a 1 cm.....	59
34	Diferença de coloração entre o bloco convencional e o reciclado.....	62

LISTA DE QUADROS

Tabela		Página
1	Resíduos gerados na cidade de São Paulo.....	19
2	Resíduos de entulho gerados em algumas cidades do Brasil.....	22
3	Participação do entulho no lixo urbano 1990/2000.....	24
4	Caracterização da areia de rio e da brita 0.....	39
5	Caracterização do cimento.....	40
6	Caracterização da areia e da brita 0 selecionada.....	41
7	Caracterização da areia e da brita 0 reciclada.....	43
8	Propriedades úteis na dosagem experimental.....	45
9	Métodos empregados.....	47
10	Quantidade de RCD coletados na cidade de Taubaté.....	53
11	Caracterização dos agregados e do cimento.....	55
12	Resultado do rompimento dos corpos de prova.....	58
13	Resultados das dosagens dos concretos.....	60
14	Traços utilizados para confecção dos blocos.....	61
15	Resistência à compressão dos blocos ensaiados.....	61
16	Valores referentes aos ensaios quanto à absorção de água.....	64
17		

RESUMO

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) é uma prática utilizada desde a Antigüidade, quando cidades destruídas pela guerra e por catástrofes naturais eram reerguidas dos próprios escombros. Hoje, ela é utilizada em larga escala em vários países da Europa e nos EUA. No Brasil, onde a preocupação com o destino desses resíduos é bem mais recente, poucos municípios se preocupam com o gerenciamento dos RCD. Os efeitos disso são visíveis: os resíduos ainda são depositados irregularmente em terrenos baldios, vias públicas, várzeas, córregos e até mesmo em áreas de proteção ambiental, causando a proliferação de vetores nocivos à saúde, enchentes e diversos prejuízos ao meio-ambiente. Assim, este trabalho tem como objetivo propor soluções que busquem a minimização desse impacto ambiental por meio da utilização dos RCD como agregados na fabricação de blocos de concreto. Os testes em laboratório e a comparação dos resultados obtidos com os das práticas convencionais provam a viabilidade da utilização dos resíduos, tanto em termos ambientais quanto econômicos, além de garantir que o emprego dos RCD atenda a todas as normas vigentes. Com isso, reafirmou-se o compromisso com a preservação ambiental, pois a reciclagem desse tipo de entulho, além de ajudar a removê-lo da paisagem urbana, ainda gera diferenciais consideráveis em termos de economia de energia e de recursos naturais não-renováveis que seriam utilizados como matérias-primas, reduzindo a poluição do ar, da água, do solo, desafogando aterros sanitários, e visando atingir o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Minimização de impacto ambiental, Resíduos de construção e demolição, Agregado reciclado, Bloco reciclado, Desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

Recycling of construction and demolition refuses (CDR) is a has been practiced since ancient history, when cities that were destroyed by war and natural disasters were rebuilt from their own ruins. Today, it is used in large scale in many countries in Europe and in the USA. In Brazil, where the concern with the destination of this kind of refuses is much more recent, few cities have planned and executed CDR management to this day. The side effects of this situation are plainly visible: the refuses have been continually and irregularly deposited in unused areas, thoroughfares, riversides, creeks and even in environmental protection areas, causing the proliferation of health-affecting problems, flooding and many other damages to the environment. Therefore, this study has the main goal of proposing solutions that can lessen the environmental impact by using CDR as aggregate in the manufacturing of concrete blocks. The lab tests and the comparing of the results obtained with those measured with the conventional techniques prove the viability of reutilizing these refuses, both in environmental and economical terms, as well as assuring that the use of CDR follows all the current regulations. With this, the compromise with environmental preservation is reinforced, since the recycling this type of refuse, beside helping to remove it from the urban landscape, generates considerable gains in saving energy and the non-renewable natural resources that would be used as raw material, lessening air, water and soil pollution, releasing the burden on landfills, always aiming at achieving sustainable development.

Keywords: Minimization of environmental impact, Construction and demolition refuses, Recycled aggregate, Concrete blocks, Sustainable development.

1 INTRODUÇÃO

A reutilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) é uma prática que vem desde a Antigüidade, com o reaproveitamento dos montes de entulho resultantes das batalhas e guerras de expansão que atingiam a maior parte das cidades da época. Centros urbanos transformados em ruínas pelos exércitos e também por desastres naturais foram erguidos e reconstruídos com seus próprios escombros. Essas técnicas são utilizadas até os dias de hoje, como na recuperação da Europa nos períodos de pós-guerras do século XX e, atualmente, pela necessidade de consumo e ausência de material primário. Um caso emblemático é o da cidade de Los Angeles (EUA), que após o terremoto de 1994, apostou na reciclagem dos escombros como uma maneira rápida e barata de realizar a reconstrução.

No Brasil, a preocupação com a disposição dos resíduos sólidos é bastante recente, ao contrário do que acontece em países como EUA e Alemanha, onde a preocupação com o gerenciamento de resíduos está em pauta há décadas. As discussões e propostas caminham mais lentamente no caso brasileiro. Atualmente, o que existe é a resolução CONAMA 307, que classifica os resíduos de construção como sendo de classe A, e a NBR 10004, que os qualifica como inertes.

A resolução CONAMA 307 regula e cria diretrizes para uma efetiva redução dos impactos ambientais gerados pelos resíduos oriundos da construção civil e a sua disposição em locais inadequados.

Poucos municípios brasileiros estão implementando ou já implementaram a reciclagem de resíduos de construção e demolição. Os principais exemplos são os municípios de Ponta Grossa, no Paraná, e São Paulo, onde se destaca a usina de reciclagem de Itatinga, além de Jundiaí, Santo Carlos, Ribeirão Preto e Campinas (SP), Salvador e Vitória da Conquista (BA) e Belo Horizonte (MG).

As vantagens de se reciclar entulho são enormes, pois se elimina o custo de coleta e disposição pelos municípios e, além disso, pela reciclagem pode-se obter agregado para produção de concreto a baixo custo, podendo, ainda serem vendidos a terceiros, barateando o custo das construções que possam se utilizar deste agregado para produzir concreto não-estrutural.

Do ponto de vista ambiental, o principal problema acontece com a disposição irregular dos resíduos, devido também às grandes quantidades produzidas, em função dos desperdícios de obras que ainda insistem em utilizar métodos tradicionais e ultrapassados de construção.

A construção civil é um dos maiores geradores de resíduos de toda a sociedade, com taxas de participação que variam entre 10 e 47% do total gerado (PINTO, 1999), e também um dos grandes consumidores de recursos naturais. Outra constatação importante é que esses recursos estão cada vez mais escassos, inclusive em função do crescente controle ambiental que é imposto sobre a extração de matérias-primas.

A disposição irregular do resíduo de construção e demolição é um sério problema, comum em todo o mundo. Associado à falta de consciência da população, aos interesses privados de empresas coletoras e o descaso das autoridades competentes, esse processo agrava em muito o processo de depredação do meio-ambiente.

Depositados irregularmente e de maneira irresponsável, esses resíduos podem causar enchentes, aterrar várzeas e córregos, obstruir faixas de rolagem, prejudicar o sistema de drenagem do solo, provocar desmoronamentos, proliferação de vetores nocivos à saúde, poluição visual e danos irreversíveis à natureza.

Promover a reciclagem de resíduos é o caminho mais curto para se evitar diversos problemas que podem atingir o meio-ambiente e prejudicar as condições de sobrevivência da raça humana no planeta, com as vantagens adicionais de poder criar, aquecer e movimentar uma economia paralela, restabelecer a dignidade social, elevando a auto-estima de pessoas que muitas vezes foram excluídas da sociedade e que podem ter papel importante no funcionamento dessa indústria.

Propor soluções que busquem a minimização dos impactos ambientais, com a utilização de agregados reciclados é o objetivo deste trabalho. Trabalho este que foi desenvolvido a partir da coleta de dados, análise e interpretação do material observado, testes qualitativos em laboratório e leitura de referenciais teóricos para embasamento. No laboratório, tentou-se quantificar, qualificar, caracterizar e identificar os resíduos de construção e demolição para estabelecer análises práticas.

Outra meta deste estudo foi apresentar alguns dos fatores mais importantes relativos ao processo de produção de blocos de concreto, discutindo etapas do processo de produção e parâmetros de mistura, considerando os materiais e as máquinas empregadas em sua confecção, dados extraídos da literatura sobre o assunto, e com isso, determinar sua colaboração na minimização dos impactos ambientais.

Evidenciar as vantagens de se reciclar os resíduos, e buscar a preservação do meio-ambiente, seja por meio de economia de energia, de recursos naturais, de matérias-primas, da redução de poluição do ar, da água, do solo, seja na geração de emprego, de

renda ou dando mais vida aos aterros sanitários para uma relação mais saudável com o meio-ambiente também são objetos deste trabalho.

A principal contribuição, no entanto, é mostrar que a reciclagem dos resíduos de construção e demolição pode auxiliar na produção de materiais a baixo custo, colaborando para a construção de habitações mais baratas. O uso do RCD é fundamental, pois é cada vez mais necessária uma conscientização quanto ao fato de que o ganho com a reciclagem é geral, a partir do momento em que existe um melhor aproveitamento de materiais que são descartados como lixo e que podem ser, transformados em matéria-prima, passando de problema a solução.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Demonstrar a minimização do impacto ambiental na produção de blocos de concreto com emprego de agregado reciclado, proveniente do reaproveitamento de resíduos de construção e demolição.

2.2 Objetivos Específicos

Quantificar os resíduos de construção e demolição, descartados na cidade de Taubaté.

Identificar o cumprimento da Resolução CONAMA 307, na cidade de Taubaté.

Caracterizar o entulho em seu estado bruto.

Caracterizar o agregado reciclado de concreto.

Determinar as propriedades do bloco produzido com agregado reciclado.

Avaliar a minimização de impactos ambientais pelo uso do agregado reciclado em blocos de concreto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Etimologicamente a palavra entulho significa aquilo que resta de uma ruína ou desmoronamento; detritos; pedregulhos; calça; tudo que contribui para atravancar; o que serve para tapar um fosso. Entulho também pode ser entendido como: “pedregulhos, areia, terra, tudo quanto sirva para entupir, aterrar, nivelar depressão de terreno, escavação, fossa e vala”. A etimologia da palavra resíduo mostra que ela vem do Latim, *residuu* (m), e significa “aquilo que resulta de uma reação química”. Na língua portuguesa, o significado é: “remanescente; aquilo que resta de qualquer substância; resto; o resíduo do que sofreu alteração de qualquer agente exterior, por processos mecânicos, químicos ou físicos” (OLIVEIRA, 2002).

A disposição de resíduos de construção e demolição vem se tornando um problema bastante complexo, em função do modelo linear de produção industrial, da sociedade de consumo e do aumento da população mundial. No modelo atual de produção, sempre há geração de resíduos na produção de bens de consumo. Ao final da vida útil, estes também se convertem em resíduos. Assim, em qualquer economia, a longo prazo, a massa de resíduos gerados será superior à massa de bens de consumo existentes (JOHN, 2000).

A reciclagem de resíduos de construção e demolição não é uma idéia nova. Os romanos, por exemplo, reconstruíram suas cidades destruídas durante as guerras, utilizando os escombros (HENDRIKS, 2000).

Provavelmente, a primeira pesquisa sistemática sobre o tema foi a de CINCOTTO (1988). Outro marco importante foi o estudo de PINTO (1989) dando início a uma série de trabalhos sobre desperdício em construção, políticas municipais e técnicas de reciclagem de entulhos (JOHN, 1999). A mais importante pesquisa sobre perdas na construção formal foi realizada no Brasil, financiada pelo Programa HABITARE, e contou com a participação de 18 Universidades e 52 empresas (AGOPYAN et al., 1998).

Mais heterogêneo que a maioria dos resíduos industriais, o resíduo de construção e demolição pode ser constituído de praticamente todos os materiais utilizados na construção civil (argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeiras, metais, papéis, plásticos, pedras, tijolos e tintas, entre outros). Sua composição química está vinculada à composição de cada um de seus constituintes (ZORDAN, 2001). A geração e descarte deste resíduo de maneira inadequada levam a sociedade a clamar por providências das autoridades governamentais e dos responsáveis pela geração de entulho, para que encontrem soluções que dêem tratamento adequado aos materiais descartados pelas construções (OLIVEIRA, 2002).

Sabe-se também que a construção civil responde por uma boa parte do consumo mundial de recursos naturais, o que a torna responsável por muito do impacto que o meio-ambiente sofre em decorrência da atividade humana. Ela abrange desde a fabricação de cimento e suas emissões de gás carbônico na atmosfera até a deposição de resíduos em aterros (ÂNGULO, 2001; JOHN, 2001).

A transformação de matérias-primas e bens de consumo em lixo gera graves problemas urbanos e ambientais quando esse material é depositado de maneira irregular. A reciclagem de resíduos é, hoje, uma necessidade para a preservação do meio-ambiente, não apenas pelo risco de contaminação do solo e dos lençóis freáticos, mas também pela possibilidade de redução do custo e do consumo de matérias-primas e energia na produção de materiais de construção civil (SILVA, 1996).

Atualmente, o descarte ocorre em terrenos baldios, ao longo de cursos d'água e em áreas periféricas; prática que, além de causar danos ao meio ambiente, tem alto custo operacional de limpeza pública. Parte significativa desses resíduos depositados em áreas inadequadas agrava problemas urbanos como enchentes e tráfego congestionado (PINTO, 1999).

As Figuras 1, 2, 3 e 4 mostram alguns dos problemas que ocorrem nas cidades, com o descarte ilegal de resíduos de construção e demolição.



Figura 1 – Entulho jogado em terreno baldio.



Figura 2 – Entulho na calçada.



Figura 3 – Entulho no passeio.

Figura 4 – Entulho jogado na beira da estrada.

Fonte: Autor (2005)

Para ZORDAN (2001), reciclar o entulho - independente do uso que a ele for dado - apresenta vantagens econômicas, sociais e ambientais, tais como: - Economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais pelo entulho; - Diminuição da poluição gerada pelo entulho e de suas conseqüências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos, e - Preservação das reservas naturais de matéria-prima; permitindo ainda a geração de empregos e o aumento da competitividade na economia (EPA, 1998).

A construção civil, pelo extraordinário volume físico de materiais que incorpora, é o maior mercado potencial para a reciclagem. Só que a grande maioria dos resíduos de construção possui contaminantes ambientais, cujo impacto geralmente envolve uma complexidade de mecanismos, e cuja heterogeneidade, em função de toda a diversidade do processo industrial, faz com que as pesquisas de investigação da reciclagem devam incluir a avaliação do risco ambiental de todo produto que venha a ser confeccionado (JOHN et. Al., 1996).

Nos EUA, foi criado em 1989, um pacote com 20 leis sobre o gerenciamento de resíduos, denominado “Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos”, obrigando os municípios a reduzir seus depósitos de entulho, e o departamento de transporte, a incluir o concreto reciclado nas especificações dos materiais para pavimentação, como base e sub-base. (PIT & QUARRY, 1990).

Na Holanda, desde 1984, além da criação de uma lei sobre resíduos sólidos, a política de gerenciamento de resíduos sólidos também estimulou a realização de testes e pesquisas para aprovação e controle da utilização de concreto e de alvenaria reciclados, como agregados. Entre as principais conseqüências práticas desta lei está o fechamento de vários depósitos clandestinos. (CONCRETE, 1993).

Diferentemente de outros países, no Brasil a preocupação com resíduos é ainda muito recente, e ainda está muito longe de políticas como as praticadas nos EUA, que já vem lidando com o problema desde 1960. Uma das leis norte-americanas para o setor privilegia a compra de produtos ambientalmente saudáveis a produtos contendo resíduos (CLINTON, 1993).

Apesar dos avanços na reciclagem de resíduos, a distância é grande quando se fala de políticas abrangentes, como é o caso dos EUA ou da Alemanha (JOHN E AGOPYAN, 2001). Atualmente o que se tem em vigor é a resolução CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente que prevê uma co-responsabilidade entre o gerador e o transportador (AGOPYAN, 2001).

A resolução estabelece critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil, que define como: provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais,

além de resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, e fiação elétrica.

A Agenda 21, documento elaborado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio-Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, em 1992 (Rio-92), e que fornece diretrizes para o desenvolvimento sustentável, também trata dos resíduos da construção civil: “O manejo ambientalmente saudável desses resíduos deve ir além do simples depósito ou aproveitamento por métodos seguros dos resíduos gerados e buscar resolver a causa fundamental do problema, procurando mudar os padrões não sustentáveis de produção e consumo. Isso implica na utilização do conceito de manejo do ciclo vital, o qual apresenta oportunidade única de conciliar o desenvolvimento com a proteção do meio ambiente” (Agenda 21, Capítulo 21).

“Nos EUA, o governo estabeleceu uma política para a compra de produtos e serviços ambientalmente preferíveis, definidos como aqueles que possuem menor efeito nocivo ao ambiente ou à saúde, quando comparados com seus competidores e durante todo o ciclo de vida (CLINTON, 1993)”.

Os materiais descartados pelas obras de construção podem ser verdadeiras jazidas de matérias-primas. Esse material, no entanto, não é aproveitado, o que causa grandes prejuízos à qualidade de vida dos habitantes dos centros urbanos, além de criar uma imagem negativa para as administrações públicas. A reciclagem dos entulhos de construção civil pode ser uma alternativa interessante para os municípios que sofrem com as transformações urbanas e que se deparam com problemas de gerenciamento dos rejeitos de construção civil (BRITO FILHO, 1999).

As construções tendem a produzir resíduos naturalmente, seja pela má qualidade na execução dos projetos, seja pelos resultados da deficiência da mão-de-obra

empregada, por materiais produzidos fora de padrão e com baixa qualidade. Os resíduos também são produzidos nas próprias atividades desenvolvidas dentro de um canteiro de obras. Além disso, em toda a vida útil de uma edificação, são gerados resíduos, seja na fase de manutenção, ou na fase de reforma e adequação ao uso e principalmente na desocupação e demolição das construções (OLIVEIRA, 1998).

A cadeia produtiva da construção civil apresenta muitas vantagens que a credenciam a ser uma grande recicladora, já que oferece inúmeras possibilidades de reuso para os resíduos. Dada a grande dimensão econômica e ambiental do problema dos resíduos de construção e demolição, é provável que nos grandes centros brasileiros, as municipalidades tomem medidas que forcem a indústria da construção civil a reciclar seus resíduos, como já acontece em cidades como Belo Horizonte, Ribeirão Preto e Salvador.

ZORDAN (1999), diz que “o estudo de soluções práticas que apontem para a reutilização do entulho na própria construção civil contribui para amenizar o problema urbano dos depósitos clandestinos deste material – proporcionando melhorias do ponto de vista ambiental – e introduz no mercado um novo material com grande potencialidade de uso”.

Estudo de PINTO (1999) estimou que nas grandes cidades brasileiras as atividades de canteiro de obras são responsáveis por aproximadamente 50% dos resíduos de construção e demolição (RCD), enquanto que as atividades de demolição e manutenção são responsáveis pela outra metade. Nos EUA, a EPA (1998) estima que apenas 8% dos resíduos de construção sejam provenientes das atividades de construção, e que 33% provêm de demolições não-residenciais.

Do ponto de vista financeiro, a reciclagem é muito interessante, porque permite a

redução global dos custos, diminui o consumo de energia, especialmente quando se leva em conta o volume de produção, a distância e o meio de transporte dos materiais da construção civil que são depositados em aterros, além dos ganhos ambientais. Dados de PINTO (1999) mostram que a implantação e operação dos sistemas de gestão do RCD são compensadas pela redução da necessidade de coleta e deposição do resíduo depositado ilegalmente e pela substituição de agregados naturais por reciclado.

A reciclagem dos resíduos de construção e demolição é viável do ponto de vista técnico e ambiental, pois o risco de contaminação por este tipo de processo é baixo. A perspectiva é a de se avançar para uma sociedade sensibilizada, informada e educada para as questões do não-desperdício de materiais, consumir com critérios, descartar seletivamente e não jogar resíduos nas ruas. Somente dessa maneira, governo, empresas e cidadãos terão consciência de suas atitudes e não jogarão lixo em lugares impróprios, participando da construção de uma nova concepção de gestão de resíduos, estruturada a partir da participação da sociedade, da inclusão social, das responsabilidades empresariais e da educação para a reciclagem (SCHEMBERGER, 2003).

É importante lembrar também que uma aplicação prática e em larga escala da reciclagem de resíduos de construção e demolição deve passar pelo desenvolvimento de técnicas onde o produto reciclado apresente vantagens competitivas sobre os tradicionais, como preço, conscientização, economia, e preservação, tendo sempre em mente alternativas para o desenvolvimento sustentável, a minimização do impacto ambiental e uma convivência mais pacífica com o meio-ambiente.

3.1 Resíduos da Construção Civil

Os resíduos urbanos têm um elevado grau de heterogeneidade, isto é, não possuem um conjunto de características que os assemelhem entre si, devido aos vários tipos de origens. Por isso, é necessário adotar soluções diferentes para cada uma das parcelas constituintes desses resíduos. Isso é especialmente válido para aqueles materiais que representam os maiores volumes e, ou, massas como, em geral, ocorre com os resíduos da construção civil (LIMA, 2000).

Uma das atividades que mais contribuem com ações que alteram o meio-ambiente é a construção civil. Essas alterações vão desde a fase de implantação da obra, execução dos serviços, limpeza de obra, montagem dos canteiros, etc. Além disso, são gerados resíduos em todas as fases da vida útil da construção: execução, manutenção, reforma, desocupação e demolição (CARNEIRO, 2001).

A geração de resíduos sólidos pela construção civil tem trazido preocupação quanto aos seus efeitos em relação ao meio ambiente porque a sua deposição poucas vezes obedece a um critério técnico adequado. De um modo geral, a indústria da construção civil no Brasil apresenta um baixo índice de produtividade e um elevado índice de perdas de materiais. A forma de deposição dos resíduos, principalmente em aterros clandestinos ou aterros públicos, degrada o meio ambiente pelo esgotamento das áreas saudas, assoreamento dos cursos d'água e pela poluição dos aquíferos (OLIVEIRA, 2000).

A Figura 5 mostra a grande quantidade de resíduos de construção e demolição depositada muito próxima a um córrego da cidade de Taubaté.



Figura 5 – Entulho descartado próximo a córrego

Fonte: Autor (2005)

A construção de edifícios, tão importante para sanar a demanda social por habitações no Brasil e em diversos outros países, acarreta no consumo de grandes quantidades de recursos físicos de nosso planeta. Este consumo aumenta ainda mais quando ocorre desperdício de materiais nos canteiros. Pesquisas recentes têm mostrado que as perdas mensuradas fisicamente estão longe de ser desprezíveis. Tais perdas podem acontecer sob duas formas: incorporadas ao próprio edifício ou como entulho (SOUZA ET AL, 2000).

Dessa forma, o crescimento da população e, conseqüentemente, o aumento da demanda por construções localizadas no perímetro urbano acaba por contribuir para o aumento da geração de entulho. O entulho se apresenta com características físicas variáveis, que dependem do tipo de obra, das técnicas construtivas, da fase em que se

encontra a obra, das características sócio-econômicas da região considerada, entre outros fatores (BRUM, 2000).

Aumentar a produtividade do operário, minimizar os resíduos e auferir bons resultados financeiros sem diminuir a qualidade do produto final são os grandes desafios da construção civil para o próximo milênio (PRADO, 2000).

3.2 Reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição

De acordo com PINTO (1999), a média de produção de entulho no Brasil é de 0,5 ton/hab/ano (meia tonelada por habitante ao ano), e chega a corresponder a 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos.

Dentre os prejuízos econômicos causados por esse quadro, destaca-se o gasto com a retirada de despejos clandestinos. Somente na cidade de São Paulo, esse tipo de ação demanda R\$ 4,5 milhões mensais (BRITO, 1999).

Dentro desse contexto, a seqüência de atividades que causaria menor impacto, tanto no âmbito econômico quanto no ambiental, seria: redução, reutilização, reciclagem, aterros e incineração, nesta ordem. Nesta lógica, a reciclagem se transforma em uma atitude necessária, pois sempre existirá uma parcela de resíduos impossíveis de se reduzir e, no caso de um resíduo pós-consumo, a sua reutilização torna-se mais complicada. A viabilidade do uso do entulho reciclado para produção de concretos e de blocos de concretos também tem sido estudada, como maneira de aumentar o mercado de utilização desse material (ÂNGULO; ET AL, 2000).

Ainda assim, devido ao crescimento urbano incessante, o resíduo gerado pelas atividades de construção e demolição vem aumentando ano a ano. A reciclagem e

utilização do entulho como material alternativo aparece como uma opção cada vez mais viável para minimizar os problemas causados pelo descarte do mesmo.

Segundo LIMA (2000), o tratamento do entulho da construção civil, enquanto resíduo sólido urbano, pode visar à recuperação da qualidade do meio ambiente e gerar material a baixo custo, a partir de sua reciclagem, permitindo a substituição dos materiais convencionalmente empregados na construção civil e a redução da geração de resíduos.

A reciclagem do entulho contribui para a diminuição dos problemas ambientais relacionados à sua disposição inadequada, assim como para proporcionar um aumento na vida útil das reservas naturais de matérias-primas (agregados naturais) e aterros sanitários (BRUM, 2000).

Ao ser reciclado, o entulho apresenta propriedades físicas, mecânicas, químicas e ambientais apropriadas para produção de materiais de construção, como agregado. Este resíduo é caracterizado como material inerte e apresenta um grande potencial para reutilização e reciclagem (BRUM, 2000).

A adoção de uma política de incentivo para o reaproveitamento dos minerais descartados pelas obras civis reduzirá a quantidade de minerais extraídos das jazidas e, conseqüentemente, haverá uma redução no impacto ambiental pelo reuso e reciclagem do entulho (OLIVEIRA, 2001).

3.3 Composição dos Resíduos de Construção e Demolição (Entulho)

Segundo OLIVEIRA (2002), a composição básica do entulho de obra de construção civil e de infra-estrutura pode variar em função dos sistemas construtivos e

das disponibilidades regionais, isto é, dos materiais, da mão-de-obra e da tecnologia que podem ser empregadas na execução de uma obra.

A composição gravimétrica que define o percentual da massa de cada material componente do resíduo sólido urbano, é a primeira e mais importante etapa para qualquer trabalho, seja para planejamento da limpeza urbana, seja para orientação e determinação de sistemas mais eficientes de tratamento, disposição e reciclagem (CASTRO, 1996).

Na fase de construção, o entulho gerado numa edificação é constituído pelas sobras dos materiais adquiridos e danificados ao longo do processo produtivo, tais como restos de concretos e argamassa produzidos e não utilizados ao final do dia de trabalho, escavação de solo, desaterro, alvenaria demolida, argamassa não aproveitada, sobras de tubos, aço, eletrodutos, entre outros (CARNEIRO, 2001).

Do ponto de vista técnico, as possibilidades de reciclagem dos resíduos variam de acordo com a sua composição. Quase a totalidade da fração cerâmica pode ser beneficiada como agregado, com diferentes aplicações conforme sua composição específica. As frações compostas de concretos estruturais e de rochas naturais podem ser recicladas como agregados para a produção de concretos estruturais (JOHN E AGOPYAN, 2001).

O processo de reciclagem do entulho para obtenção de agregados basicamente envolve a seleção dos materiais recicláveis do entulho e a trituração em equipamentos apropriados, seguindo uma seqüência de trabalho que vai da escolha dos materiais recicláveis do entulho, passando pela trituração e peneiramento, indo formar o agregado reciclado. Segundo dados (LIXO MUNICIPAL, 2000), os resíduos encontrados no entulho, que são recicláveis para a produção de agregados, pertencem a dois grupos:

- Grupo I – materiais compostos de cimento, cal, areia e brita: concretos, argamassas, blocos de concreto.

- Grupo II – Materiais cerâmicos: telhas, manilhas, tijolos, azulejos.

Atualmente, a definição sobre resíduos sólidos em vigor no Brasil é a Resolução CONAMA 307, que define a classificação dos materiais em quatro classes, como será visto no item 3.5, página 26.

Na análise dos resíduos sólidos urbanos de Salvador, realizada pela LIMPURB (2000), verifica-se que, das 5.517 toneladas coletadas diariamente, o lixo domiciliar representa 46,04 % contra 49,77% do entulho gerado por construções e demolições.

A cidade de São Paulo coleta 326 mil toneladas por mês de resíduos de construção civil que não recebem destinação adequada. Cerca de 80% dos resíduos são depositados em áreas clandestinas, regiões de manancial, cursos d' água e lagoas (ATESP, 2000).

O Quadro 1 mostra o percentual dos resíduos gerados pela atividade da construção civil na cidade de São Paulo.

Quadro 1 – Resíduos gerados na cidade de São Paulo (ATESP, 2000).

CONSTITUINTES	PORCENTAGEM (%)
Inertes	65
Madeiras	13
Plásticos	8
Outros materiais	14

Quando se analisa uma massa de entulhos de construção civil, observa-se que, apesar de sua heterogeneidade, a quase totalidade dos materiais que o compõem é de alto valor agregado e de boa resistência mecânica, tais como: areias, pedras britadas,

concretos e argamassas endurecidas, tijolos e cacos cerâmicos, madeiras, etc. Todos esses materiais são matérias-primas em potencial. Portanto, pode-se dizer que os entulhos de construção civil gerados numa cidade são verdadeiras jazidas de matérias-primas e, como tais, são passíveis de serem explorados (BRITO FILHO, 1999).

O gráfico contido na Figura 6, abaixo, discrimina as porcentagens dos diferentes materiais encontrados nos resíduos de construção e demolição descarregados no aterro de Itatinga, na cidade de São Paulo.

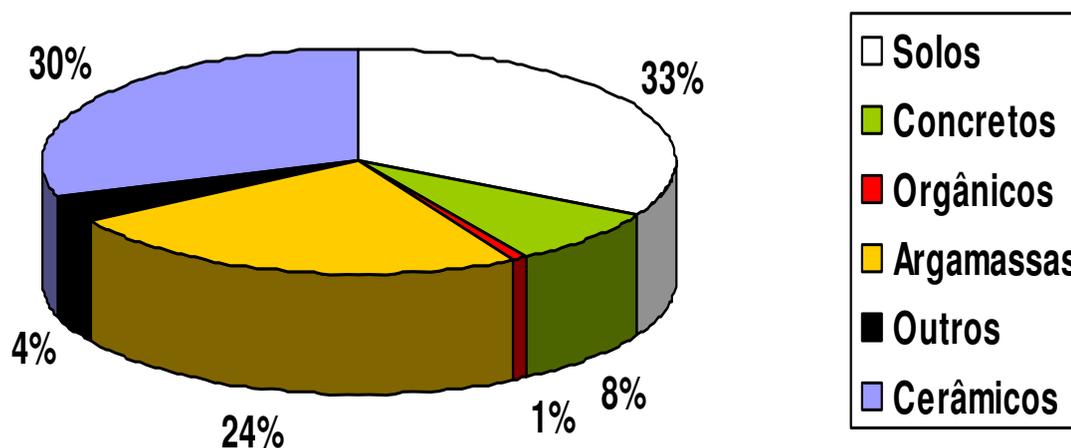


Figura 06 – Composição média dos entulhos descarregados no aterro de Itatinga – PMSP

Fonte: BRITO FILHO (1999)

A composição do entulho sofre influência de vários fatores como, por exemplo, as características regionais (geológicas e morfológicas); hábitos e costumes da comunidade; nível econômico; etc (LIXO MUNICIPAL, 2000). Tendo como referência a cidade de Campinas (SP), análises efetuadas em 10 amostras de entulho resultaram nos valores percentuais apresentados na Figura 7.

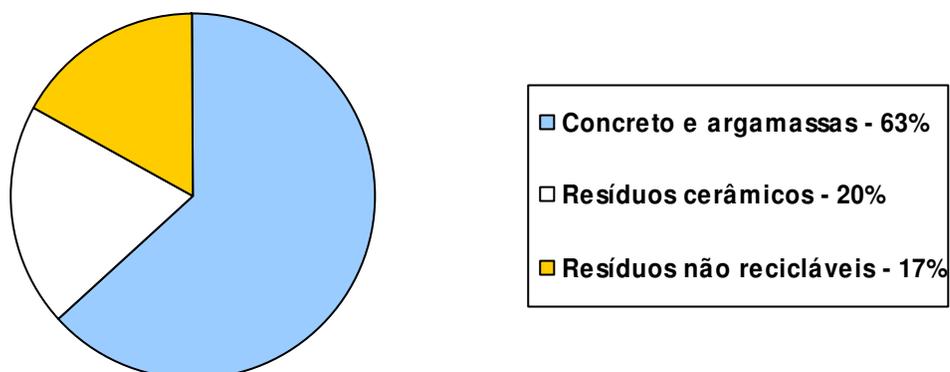


Figura 7 – Composição média do entulho, em massa (Campinas – SP).

Fonte: SILVEIRA (1993).

3.4 Descarte dos Resíduos nas cidades

Em Belo Horizonte, com o funcionamento das estações de reciclagem previstas, e o trabalho de fiscalização e educação ambiental, estima-se uma reciclagem de 8,8 mil t/mês, resultando numa produção de 5.500m³ de material reciclado (TÉCHNE, 1995). Ainda em Belo Horizonte, estimou-se em 1993, a geração de 1.200 t/dia de entulho e mais 1,8 mil t/ dia de terra (DO CAOS..., 1996 Apud LIXO MUNICIPAL, 2000).

A cidade de Uberlândia (MG) produz 1.515 toneladas de resíduos sólidos urbanos por dia. Destes, 63% são resíduos de construção e demolição. Cerca de 226,27 m³/dia de entulho são reciclados diariamente na cidade (ROCHA, 2004).

Quadro 02 – Resíduos de entulho gerados em algumas cidades do Brasil. (Oliveira ,2002; Leite, 2001)

CIDADES	POPULAÇÃO (Milhões)	RESÍDUOS GERADOS (Ton/dia)	RESÍDUOS / HABITANTE / (Kg/dia)
São Paulo - SP	10,00	10.866	1,08
Porto Alegre – RS	1,20	350	0,29
Salvador - BA	2,20	1.700	0,77
Ribeirão Preto - SP	0,46	1.043	2,26
São José do rio Preto - SP	0,32	687	2,14
Jundiaí - SP	0,29	712	2,45
Santo André – SP	0,63	1.013	1,60
Belo Horizonte - MG	2,01	1.200	0,60
Vitória da Conquista - BA	0,24	310	1,29
São José dos Campos - SP	0,50	700	1,40
Guaratinguetá - SP	0,10	60	0,60
Taubaté - SP	0,23	230	1,00
Ubatuba - SP	0,06	49	0,82
Caçapava - SP	0,07	54	0,77
Pindamonhangaba - SP	0,12	66	0,55
Tremembé – SP	0,03	9	0,27

Em Ponta Grossa (PR), desde janeiro de 2002 é realizado um controle mais específico do lixo que é levado ao aterro municipal, discriminando o total de lixo domiciliar, o hospitalar e o de terceiros coletados por dia, verifica-se que o total de lixo de terceiros de empresas de coleta de entulhos, construtoras, prefeitura municipal, indústrias, fábricas e particulares chega a casa entre 1 mil e 40 mil kg ao dia. (PMPG, 2002 Apud SCHEMBERGER, 2003).

No município de São Paulo, conforme dados da prefeitura, são gerados diariamente cerca de 4.000 toneladas de entulho de construção civil (90.000 m³/mês). Este valor tende a ser muito maior, pois só estão contabilizados os entulhos destinados aos aterros oficiais. No total, estima-se que os entulhos clandestinos totalizem 60% dos registrados, o que permite um cálculo de aproximadamente 144.000 m³ por mês de entulho, na maior cidade brasileira (BRITO FILHO, 1999).

Na cidade de São Carlos – SP, segundo NETO (2005), os resíduos de construção e demolição pelo número de caçambas removidas por empresas coletoras da cidade indicam a geração de 432,83 m³/dia, o que representa uma produção em massa de 259,70 ton/dia.

Um levantamento realizado em oito cidades brasileiras indicou que a quantidade de entulho (apenas para aterros públicos), no total dos resíduos sólidos urbanos, tem sido alta. Na cidade de São José dos Campos (SP), por exemplo, corresponde a 68% da massa; em Ribeirão Preto (SP), a 67%; em Belo Horizonte (MG), a 51%; em Brasília (DF), a 66%; em Campinas (SP), a 64%; em Jundiaí (SP), a 64%; em São José do Rio Preto (SP), a 60% e, em Santo André (SP), a 62%.

É o caso da cidade de Salvador que na última década constatou um significativo incremento nessa participação, representando 45,35%, como pode ser observado no quadro abaixo, enquanto que, na Figura 8 tem-se a quantidade de entulho em relação ao total de resíduos em aterros públicos (% em massa) de diversas cidades brasileiras.

Quadro 03 – Participação do entulho no lixo urbano 1990/2000. (COM/DIRAC – Operação Faxinaço – 13.12.96 a 17.03.97)

ANO	TOTAL RECOLHIDO (Ton.)		
	LIXO	ENTULHO	%
1990	638.848	28.264	4,42
1991	675.791	147.764	21,86
1992	682.085	185.415	27,18
1993	684.791	206.083	30,09
1994	732.665	226.083	30,86
1995	767.718	227,214	30,00
1996	845.403	249.445	29,71
1997	1.071.036	380.477	35,52
1998	1.278.126	530.324	41,49
1999	1.294.382	511.008	39,48
2000	1.671.683	832.007	49,77

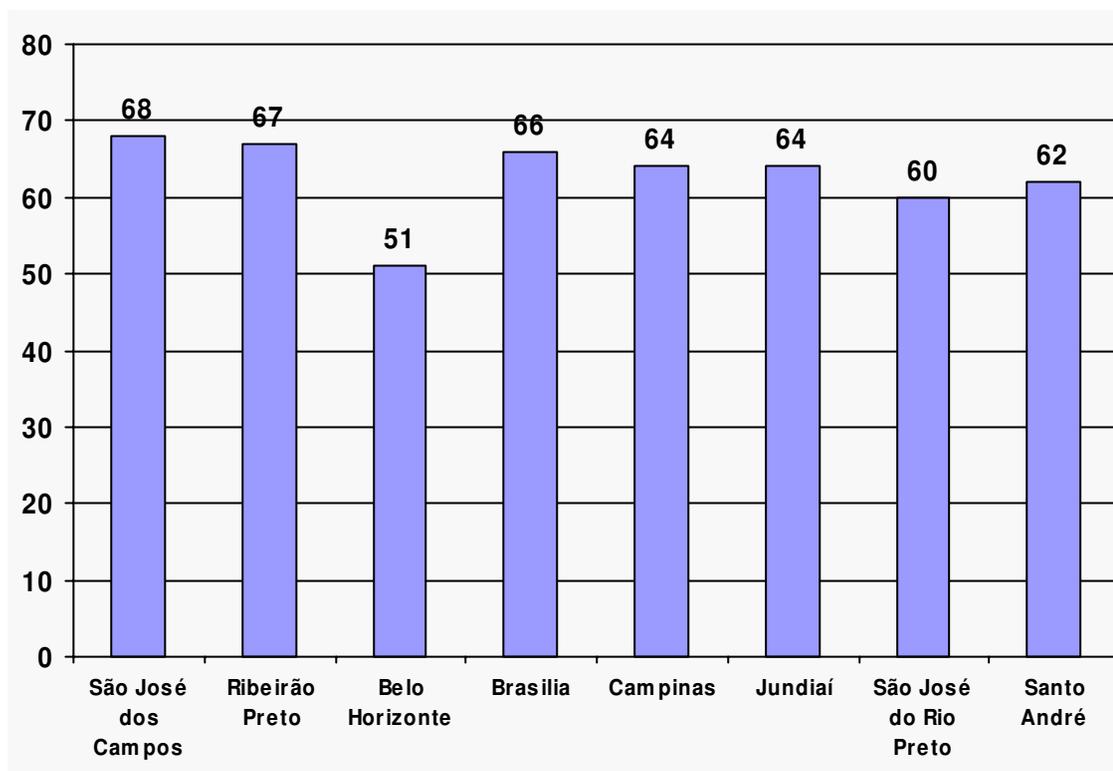


Figura 08 – Quantidade de entulho em relação ao total de resíduos em aterros públicos (% em massa)

Fonte: PINTO (1997)

3.5 Resolução CONAMA 307

Editada em 05 de julho de 2002 (Apêndice A), a resolução número 307 do Conselho Nacional do Meio-Ambiente (CONAMA), entrou em vigor em 02 de janeiro de 2003. A resolução estabelecia o dia 02 de janeiro de 2004 como prazo para as prefeituras montarem os projetos de gerenciamento de resíduos. Em junho de 2004, deveria ocorrer a implementação desses projetos e, em janeiro de 2005, o cumprimento das normas pelos geradores de RCD.

A Resolução CONAMA 307 classifica os resíduos de construção e demolição da seguinte maneira:

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 ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou 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 CONAMA 307 ainda define o que é resíduo, obriga a uma análise mais criteriosa do material e proíbe sua disposição indiscriminada em qualquer local. Com isso, o documento tenta estabelecer uma disciplina mais rígida quanto ao fluxo dos resíduos, e parte de uma decisão acertada: classificar a massa totalmente heterogênea que sai da construção e demolição. Esse é o primeiro passo para que se possa perceber a agressividade de muitos materiais contidos nos RCD e, também, desenvolver formas para reduzir sua geração e possibilitar seu reaproveitamento, se possível.

3.6 Reaproveitamento dos resíduos reciclados

Atualmente, a tendência nos países desenvolvidos é utilizar o agregado reciclado em alguns tipos de peças estruturais, misturado ou não com agregados naturais. No Brasil, o que existe, basicamente, é a reciclagem do entulho com destino do agregado reciclado para peças não-estruturais (LIXO MUNICIPAL, 2000).

Segundo dados da SLU (1993) 100 viagens, de aproximadamente 5m³ de entulho cada, geram cerca de 400m³ de reciclados, quantia que permite produzir blocos suficientes para construir 55 casas populares de 60m² ou agregados para execução de sub-base de 1.000 m² de ruas com uma caixa de 0,40m. Destacam-se ainda o uso em contrapisos, fabricação de blocos e tijolos para construção de muros e a aplicação como

agregados em substituição à brita e à areia na execução de calçadas, guias e sarjetas, entre outras (LIMA, 2000).

A viabilidade do uso do entulho reciclado para produção de concretos e de blocos de concretos também tem sido verificada, aumentando assim o mercado de utilização desse material (ANGULO, 2000).

Como o material reciclado vem demonstrando muito bom desempenho para uma série de usos em obras urbanas, para as quais possibilita a obtenção de custos bastante vantajosos, é possível programar sua utilização em serviços diversos, tais como: execução de base para pavimentação de vias; execução de habitações e outras edificações; execução de muros; execução de calçadas; contenção de encostas com uso de sacaria; produção de artefatos (guias, sarjetas, tubos), entre outros usos (PINTO, 1997).

Dentre as várias possibilidades de uso para o entulho de construção civil, BRITO FILHO APUD FONSECA SILVA (2001), destaca o emprego em obras de pavimentação, regularização e cascalhamento de ruas de terra, obras de drenagem, execução de contra-pisos, produção de concreto de boa qualidade e desempenho e argamassa para revestimento.

Uma outra tendência é a utilização em argamassa de alvenaria com o agregado miúdo, composto de areia natural e reciclada de resíduos de argamassa, blocos de concreto, tijolos e blocos cerâmicos. A característica deste sistema que envolve o uso desta argamassa é a de que o resíduo é processado e utilizado, em geral, no próprio local onde é gerado; com isso, tem-se a vantagem de se poder controlar melhor a qualidade do resíduo e, portanto, da areia reciclada (HAMASSAKI, 1997).

3.7 Economia Proporcionada

Com a reciclagem do entulho, pode-se fazer economia dos custos de transporte de matérias-primas por longas distâncias, além dos custos de deposição final em aterros e transporte do entulho, assim como dos eventuais custos com remediação de impactos ambientais e disposição no aterro, tornando a reciclagem uma opção ainda mais atrativa (CARNEIRO, 2001).

Nos casos em que o material reciclado e o natural têm o mesmo custo, o diferencial será a qualidade ou a confiabilidade do produto e a utilização de instrumentos de marketing, como selos verdes, de forma a exibir para o público consumidor o fato de que o produto é ambientalmente correto (CARNEIRO, 2001).

Diversos estudos indicam que a reciclagem de entulho pode gerar agregados com custo inferior ao custo médio dos agregados convencionais. Em Belo Horizonte, por exemplo, verificou-se uma economia de 22% na execução da pavimentação asfáltica, e é estimada uma economia de 50% na produção de blocos de vedação (PINTO, 1997; CARNEIRO, 2001).

No entanto, esta comparação deve ser apenas um dos dados de avaliação de implantação de reciclagem. Além dela, a eliminação das deposições irregulares, o alívio dos aterros sanitário, entre outros fatores, também são partes importantes nessa análise (LIXO MUNICIPAL, 2000).

Quanto maior o teor de adição de entulho reciclado, menor o consumo de cimento da argamassa. Esta tendência é um denominador comum a todos os trabalhos existentes sobre o tema. Assim, podem ser adotados traços para argamassas com resíduos reciclados que proporcionam redução de custo de até 45%, tanto pelo baixo

custo do agregado quanto pela redução do consumo de aglomerantes tradicionais (CARNEIRO, 2000).

Além disso, os processos de reciclagem ainda podem reduzir o consumo de energia na produção de materiais. A reciclagem de sucata de aço permite a produção de um novo aço consumindo apenas aproximadamente 70% de energia gasta para produção a partir de matérias-primas naturais. Já a sucata de vidro como matéria-prima para a produção de vidro reduz apenas em 5% o consumo de energia. A substituição do Clinker Portland em 50% por escória de alto forno ocasiona redução de cerca de 40% no consumo de energia.

Em São Paulo, se simplesmente se considerar que as ruas de terra, para serem mantidas em bom estado de conservação e trafegabilidade, necessitam dos serviços de cascalhamento uma vez por ano, pode-se atingir uma economia de recursos da ordem de R\$ 75,6 milhões, se forem utilizados entulhos de construção civil reciclados (BRITO FILHO, 1999).

3.8 Equipamentos para reciclagem

Os equipamentos de reciclagem de entulho assemelham-se bastante aos equipamentos de britagem de rocha. A diferença básica se dá no tipo do britador que, preferencialmente, deve ser do tipo de impacto, por melhor se adequar à fragmentação dos entulhos (BRITO FILHO, 1999).

Normalmente, os equipamentos usados na reciclagem de entulho compõem-se de: - silo de recepção, tipo calha vibratória; - triturador; - transportadores de correia; - extrator de metais ferrosos; e - conjunto peneirador.

Para ilustrar melhor, os equipamentos utilizados na reciclagem de resíduos de construção e demolição, a Figura 09 traz a imagem de uma usina operando e a Figura 10, um modelo de planta utilizada na cidade de Campinas para a sua unidade recicladora de materiais.



Figura 09 – Equipamentos necessários para reciclagem dos RCD.

Fonte: NETO (2005)

O equipamento utilizado para triturar o entulho (britador primário) é um britador de impacto. A dimensão máxima do material produzido por esse tipo de triturador é determinada, além da capacidade física da boca de entrada, basicamente, pela regulagem do equipamento. A partir dessa regulagem, há uma variada e decrescente composição granulométrica do produto obtido (ZORDAN, 2001).

- 1 – Cabine de comando**
- 2 - Conjunto britador**
- 3 – Esteira com imã p/ retirada de materiais ferrosos**
- 4 – Esteira móvel – pivô central**
- 5 – Conjunto de peneiras**
- 6 – Esteiras de empilhamento de material peneirado**

Figura 10 – Planta de uma unidade recicladora de materiais. (Campinas – SP)

3.9 Relação custo/benefício dos materiais reciclados quando comparados aos materiais tradicionais e suas relações com o meio ambiente

Além da viabilidade tecnológica e das vantagens sociais e ambientais, os aspectos econômicos são de fundamental importância para possibilitar o uso de agregados reciclados em substituição aos agregados convencionais (CARNEIRO, 2001).

3.9.1 Blocos de concreto produzidos com resíduos de construção e demolição

O menor preço do agregado reciclado em relação ao natural possibilita a redução dos custos e, conseqüentemente, a ampliação da oferta pública de infra-estrutura urbana e habitação popular, promovendo, portanto, benefícios sociais (CARNEIRO, 2001).

Segundo a prefeitura de Santo André, com o projeto de reciclagem iniciado em 1993, foram utilizados 30m³ diários de resíduos gerando uma produção de aproximadamente 4.000 blocos p/dia, oriundos desses materiais recuperados.

Com este trabalho obteve-se, por exemplo, para condições específicas do município, uma relação de 1 para 10 entre o custo de reciclagem e os lucros obtidos para introdução dessa prática. Além de poder gerar agregados com custo 83% inferior ao preço médio dos materiais convencionais, constatou-se também, a viabilidade em se fazer blocos com custos 45% inferiores ao preço de componentes convencionais e com a mesma qualidade.

Segundo informações da prefeitura de São Paulo, na usina de Itatinga, o custo do primeiro ano de operação foi de R\$ 5,10 por tonelada. Considerando os descontos e a amortização do capital investido, o preço do agregado reciclado para venda chegou a valores de cerca de R\$ 6,70 a tonelada (COELHO; CHAVES; DJANIKIAN, 1998).

BRITO FILHO (1999) indica que o custo de reciclagem do entulho em São Paulo varia entre R\$ 4,00 a R\$ 6,00 por tonelada ou cerca de R\$ 5,20 a R\$ 7,80 por m³. Comparando-se esses valores com o preço dos agregados naturais na região de São Paulo que é de R\$ 20,00/m³, o agregado reciclado representa uma economia de até 67%.

Em Salvador, estimou-se um custo de produção para o agregado reciclado em torno de R\$ 10,00 a tonelada. Ao se comparar ao valor do agregado natural, que segundo PINTO (1999) é de R\$ 20,00 a tonelada, nota-se uma economia de 50 % com o uso de agregado reciclado, em relação ao agregado convencional.

SOUSA (1999), avaliou vários estudos na substituição de agregados naturais, convencionalmente utilizados na produção dos blocos de concreto, por agregados reciclados de entulho, e segundo o autor, os resultados obtidos se mostraram favoráveis à utilização dos agregados reciclados na produção de blocos de concreto, seja quanto à massa específica, resistência à compressão à absorção de água.

O bloco confeccionado com agregados reciclados tem a vantagem de não prejudicar o meio ambiente, pois os agregados já se encontram disponibilizados, em abundância e com um custo zero de extração, quando comparado a um bloco convencional feito com agregados naturais. Além do custo de extração dos agregados, ainda se tem o impacto ambiental causado por esta extração.

Segundo PINTO (1997), é estimada uma economia de 50% na produção de blocos de vedação, que utilizam agregados reciclados em substituição aos agregados naturais.

3.9.2 Relação dos agregados com o meio ambiente

A mineração, independente da tecnologia utilizada, apresenta-se como atividade impactante ao meio ambiente, e o caso da extração da areia e da brita não é diferente.

Os impactos da extração da areia no meio ambiente são de grande magnitude para o ambiente aquático e ribeirinho e, muitas vezes, são irreversíveis. Na exploração

em leito de rio ou em cava submersa na área da várzea, um dos principais danos é a retirada de cobertura vegetal, especialmente as matas ciliares, causando erosão, assoreamento, alteração paisagística e a poluição das águas.

Além disso, sabe-se que a camada de areia funciona como filtro físico e biológico para as águas subterrâneas e que, portanto, sua retirada representa a diminuição destas importantes funções do ecossistema local.

A exploração de jazidas de areia ou de pedra para uso na construção civil acentuou-se com a expansão dos centros urbanos e causou um impacto ambiental que, até hoje, ainda não foi devidamente mensurado. Nos últimos anos, no entanto, esse tipo de exploração vem se tornando cada vez mais raro devido às dificuldades impostas pelos órgãos responsáveis por sua regulamentação.

A extração dos recursos naturais e sua transformação para produção de alguns materiais de construção têm causado inúmeros problemas ambientais, como degradação de áreas de preservação e geração de resíduos de construção civil dispostos em locais inadequados. Dessa forma, as atividades de exploração e de fabricação de materiais de construção apresentam relações com os impactos causados (NETO, 2005).

O distanciamento e o esgotamento crescentes dos bota-foras é fator complicador para as ações corretas de coleta e disposição dos RCD, pois o custo de deslocamento é parcela importante do custo de coleta. Na região metropolitana de São Paulo, são freqüentes custos da ordem de R\$ 30,00 por tonelada de resíduo domiciliar, de R\$ 40,00 a R\$ 150,00 por tonelada de resíduo industrial e de R\$ 3,00 a tonelada, em média, para a disposição de RCD (CARNEIRO, 2001).

As camadas de base e sub-base produzidas com agregado reciclado apresentam custo de construção significativamente menor que as camadas produzidas com brita

graduada ou brita adicionada ao solo, sendo que essa redução pode representar uma economia entre 50% e 62% ao se utilizar o agregado reciclado em substituição aos materiais convencionais. Essa economia se deve ao menor preço do agregado reciclado (cerca de R\$ 11,00/m³), em relação à brita graduada (cerca de R\$ 26,00m³) e brita (R\$ 35,00/m³) (CARNEIRO, 2001).

Atualmente os preços praticados na cidade de Taubaté para os agregados naturais estão em torno de R\$ 20,00 (U\$ 9,30)* o m³ da areia e de R\$ 35,00 (U\$ 16,27)* para as britas 0 e 1. Já os preços dos agregados reciclados, adquiridos em São Paulo junto a estação de transbordo e triagem do bairro do Jaçanã, estão em torno de R\$ 12,00 (U\$ 5,58)* o m³ tanto para a areia quanto para a brita 0.

* Cotação do dólar no período em U\$ 2,15.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Resíduos descartados na cidade de Taubaté

Os dados sobre resíduos sólidos foram obtidos junto à Prefeitura Municipal de Taubaté, por meio do Departamento de Serviços Urbanos.

4.2 Resolução CONAMA 307

Analisou-se a aplicação da Resolução número 307 do Conselho Nacional do Meio-Ambiente (CONAMA), de 05 de julho de 2002 – Resolução CONAMA 307 – no gerenciamento de resíduos sólidos, mais especificamente no caso do resíduo de construção e demolição (RCD), na cidade de Taubaté.

4.3 Caracterização dos Materiais

Os materiais foram ensaiados segundo as normas técnicas vigentes. Conforme itens 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4 e 4.3.5.

4.3.1 Materiais empregados

Foram empregados os seguintes agregados:

- Agregado miúdo de rio – 1m³;
- Agregado graúdo britado – 1m³;
- Agregado miúdo e graúdo misturado naturalmente e coletado do Rio Paraíba do Sul – 1m³;
- Agregado miúdo e graúdo reciclado a partir de resíduos de concreto descartados pelas obras de construção civil – 1m³;
- Cimento Portland CP II E 32 – 1 saco.

4.3.2 Caracterização dos Agregados Naturais

Entende-se por agregado o material granular, sem forma e volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia. São agregados as rochas britadas, os fragmentos rolados no leito dos cursos d'água e os materiais encontrados em jazidas, provenientes de alterações de rocha (PETRUCCI, 1998).

Os agregados analisados foram a areia média de rio e a brita 0, comumente chamado de pedrisco, e os ensaios estão indicados no Quadro 4.

4.3.2.1 Origem da areia de rio

A areia de rio, classificada como agregado miúdo, foi coletada do rio Paraíba do Sul, em Tremembé (SP), é composta essencialmente de grãos de quartzo ou de pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, com tamanhos que variam entre 0,06 e 2,4mm e, nos ensaios, foi identificada como areia média.

Na caracterização da areia de rio, foram feitos ensaios quanto à massa unitária, massa específica e granulometria, segundo as normas exigidas, como mostra o Quadro 4.

4.3.2.2 Origem da Brita 0

Agregado graúdo ou brita 0 é o pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, proveniente do britamento de rochas estáveis. Pode ser de origem natural, seixo ou pedregulho, ou de origem artificial, pela trituração mecânica de rochas, pedra britada ou cascalho. No Brasil a brita é obtida pela trituração mecânica de rochas de granito, basalto e gnaisse.

A brita utilizada nos ensaios foi adquirida da pedreira Serveng em Taubaté – SP e classificada nos ensaios como brita 0, com um máximo de 15% dos materiais passando pela peneira de 4,8 mm (PETRUCCI, 1998).

Na caracterização da brita, foram realizados ensaios quanto à massa unitária, massa específica e granulometria, segundo as normas exigidas, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4 – Caracterização da areia de rio e da brita 0

ENSAIOS REALIZADOS	NORMA UTILIZADA
Massa Unitária da areia e brita 0	NBR – 7251 da ABNT
Massa Específica da areia	NBR – 9776 da ABNT
Massa Específica da brita	NBR – 9937 da ABNT
Granulometria da areia e brita 0	NBR – 7217 da ABNT

Os procedimentos para obtenção das propriedades da areia e da brita 0 encontram-se no **Apêndice** e os resultados no **Capítulo 5**.

4.3.3 Caracterização do Aglomerante

4.3.3.1 Cimento Portland

Segundo NEVILLE (1981), cimento Portland é um aglomerante fabricado pela mistura de calcários finamente moídos e argila.

A calcinação da mistura convenientemente proporcionada de calcário, argila e minério de ferro, finamente moída, homogeneizada e submetida a uma temperatura de 1450 °C, propicia a combinação de óxidos ácidos com óxidos básicos e, no início da fusão, são formados os silicatos e aluminatos de cálcio hidráulicos. Este produto, ao sair do forno sofre um resfriamento brusco, sendo chamado de Clinquer Portland ou simplesmente Clinquer (TEZUKA, 1998).

O cimento utilizado no estudo foi o CP II E 32, da marca Liz Soeicon S.A., fabricado em 03/2005, com validade até 05/2005.

4.3.3.2 Ensaaios

Os ensaios realizados com o cimento foram feitos de acordo com as normas brasileiras discriminadas no Quadro 5, abaixo.

Quadro 5 – Caracterização do cimento.

Ensaio Realizado	Norma Utilizada
Massa Unitária do cimento	EM 4592 DIN 1060 da ABNT
Massa Específica do cimento	NBR – 6474 da ABNT
Granulometria do cimento	NBR – 3432 da ABNT
Água de pasta do cimento	NBR – 3433 da ABNT
Expansibilidade do cimento	NBR – 3435 da ABNT
Tempos de pega do cimento	NBR – 3434 da ABNT

Os procedimentos para obtenção das propriedades encontram-se no **Apêndice** e os resultados no **Capítulo 5**.

4.3.4 Agregados Naturais Selecionados

Trata-se de um material composto pela mistura natural entre areia e seixo rolado, extraído do fundo de cavas, do leito do Rio Paraíba do Sul. A areia apresentou-se misturada com seixos rolados. Os agregados foram separados manualmente com uma peneira, obtendo-se desse peneiramento a areia média e o seixo rolado, com a granulometria da brita 0.

A areia foi classificada como areia média para concreto e o seixo rolado como brita 0 e foram adquiridos na quantidade de 1 metro cúbico, extraídos do Rio Paraíba do Sul, em Tremembé – SP.

4.3.4.1 Ensaios

Quadro 6 – Caracterização da areia e da brita selecionada.

Ensaios Realizados	Norma Utilizada
Massa Unitária da areia	NBR – 7251 da ABNT
Massa Específica da areia	NBR – 9776 da ABNT
Granulometria da areia	NBR – 7217 da ABNT
Massa Unitária da brita	NBR – 7251 da ABNT
Massa Específica da brita	NBR – 9937 da ABNT
Granulometria da brita	NBR – 7217 da ABNT

Os procedimentos para obtenção das propriedades encontram-se no **Apêndice** e os resultados, no **Capítulo 5**.

4.3.5 Agregados Reciclados

Na obtenção das amostras, foram seguidas as recomendações da NBR 10007. Alguns dos itens da norma, no entanto, não foram utilizados, já que os procedimentos para amostragem em montes ou pilhas e amostragem de resíduos sólidos heterogêneos não se mostraram adequados às características do entulho, em função deste ser composto por elementos de dimensões bastante distintas.

Os agregados reciclados usados no estudo foram obtidos através do processo de fragmentação. O processo consiste em prévia separação de restos de entulho de concreto, que são fragmentados por um britador de mandíbula e separados granulometricamente através de uma peneira vibratória. Neste processo, são produzidos os dois tipos de agregados necessários ao estudo; a areia reciclada média e a brita 0 reciclada.

Depois da britagem dos resíduos de construção e demolição são formadas pilhas com os materiais que passam pelas peneiras, (ao fundo), conforme mostra a Figura 11. Na passagem por estas peneiras, tem-se a brita 0 ou pedrisco, brita 1, brita 2 e bica corrida, sendo esta última um resultado da britagem direta do material selecionado sem a passagem pela peneira.



Figura 11 - Agregado Reciclado – britas 1 e 2 – ATT – São Paulo.

Fonte: Autor (2005)

A areia reciclada foi classificada como média, e o agregado graúdo reciclado, como brita 0. Foi adquirido 1 metro cúbico de cada um desses materiais, junto à área de transbordo e triagem (ATT) da estação de reciclagem de resíduos de construção e demolição localizada no bairro do Jaçanã em São Paulo – Capital.

A Figura 12 mostra o pátio ou ATT onde são despejados os materiais oriundos de construções e demolições que são trazidos pelas caçambas e, depois de separados, são levados para a britagem e transformação final em agregados reciclados.



Figura 12 – Usina de Reciclagem.

Fonte: Autor (2005)

4.3.5.1 Ensaios

Os ensaios para caracterização da areia e da brita 0 reciclada foram realizados conformes as normas da ABNT listadas no Quadro 7, abaixo.

Quadro 7 – Caracterização da areia e da brita 0 reciclada.

Ensaios Realizados	Norma Utilizada
Massa Unitária da areia	NBR – 7251 da ABNT
Massa Específica da areia	NBR – 9776 da ABNT
Granulometria da areia	NBR – 7217 da ABNT
Massa Unitária da brita	NBR – 7251 da ABNT
Massa Específica da brita	NBR – 9937 da ABNT
Granulometria da brita	NBR – 7217 da ABNT

Os procedimentos para obtenção das propriedades encontram-se no **Apêndice** e os resultados no **Capítulo 5**.

4.4 Caracterização do concreto

Utilizou-se o mesmo método de dosagem para os três tipos de agregados empregados na produção de concreto para blocos de alvenaria: Agregados Seleccionados, Agregados Recicladados e Agregados Naturais, conforme NBR 7211.

O método adotado para determinação dos traços de concreto dos blocos foi o método Experimental. O método tem sido empregado pelo IPT e sua principal característica é a de permitir o uso do agregado que for disponível na obra, sem muita preocupação com a composição granulométrica estabelecida através de modelos teóricos, que nem sempre é válida para condições particulares. As propriedades do concreto que são utilizadas no método estão resumidas no Quadro 8.

Feita a determinação dos traços, segundo a NBR 5750, foram moldados os corpos-de-prova (NBR 5739) e elaborado o ensaio de abatimento do tronco de cone – slump test – conforme a Figura 13. Os corpos-de-prova foram rompidos para obtenção da resistência à compressão das amostras de concreto confeccionado através dos traços piloto, traço básico, traço auxiliar inferior e traço auxiliar superior, conforme NBR 5738.



Figura 13 – Abatimento do tronco de cone.



Figura 14 – Corpos de prova rompidos.



Figura 15 – Rompimento de corpo de prova.

Fonte: Autor (2005)



Figura 16 – Carga aplicada – Resistência obtida.

Conforme as Figuras 14, 15 e 16, é possível constatar o exato momento do rompimento do corpo de prova, os vários corpos de prova rompidos, utilizados nos ensaios e o marcador com a carga aplicada em um dos corpos de prova.

Utilizou-se **100%** de agregado reciclado miúdo e **100%** de agregado reciclado graúdo, na confecção dos blocos reciclados.

Os procedimentos para obtenção das propriedades encontram-se no **Apêndice** e os resultados no **Capítulo 5**.

Quadro 8 – Propriedades úteis na dosagem experimental.

Estado do concreto	Propriedade	Origem
Fresco	$\alpha = \frac{1+a}{1+m} = \text{constante}$	Constatação Experimental

	$H = \frac{x}{1+m} = \text{constante}$	Lei de Lyse
	$m = k_{1x} + k_2$	Transformação de lei de Lyse
	$C = (k_3m + k_4)^{-1}$	$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{m}{\gamma_m} + x}$
Endurecido	$f_{cmj} = \frac{A}{B^x}$	Lei de Abrams

Observações:

α = Proporção em massa de argamassa seca no concreto seco em (%);

a = Teor de areia, em massa, em relação ao cimento;

m = Teor de agregado (areia + pedra) em massa, em relação ao cimento;

x = relação água/cimento, em massa;

H = relação água/ materiais secos, em massa em (%);

C = Consumo em Kg de cimento por m^3 de concreto;

γ_c = Massa específica do cimento em (Kg/dm^3);

γ_m = Massa específica do agregado (areia + pedra), assimilável a uma só grandeza, em (Kg/dm^3);

f_{cmj} = Resistência média à compressão do concreto aos “j” dias de idade;

A, B, K_1, K_2, K_3, K_4 = Constantes que dependem dos materiais empregados e/ou particularidades do concreto.

4.5 Propriedades dos blocos analisados

Após a constatação dos resultados, após os rompimentos dos corpos de prova, com os traços determinados foram confeccionados os blocos reciclados, conforme Figura 17, e os blocos convencionais, conforme Figura 18.



Figura 17 - Blocos reciclados.

Fonte: Autor (2005)



Figura 18 – Blocos convencionais.

Os blocos possuem as dimensões de 14cm X 19cm X 29cm, e espessura das paredes internas de no mínimo 1,5cm, como recomenda a norma. E foram confeccionados utilizando-se os seguintes equipamentos: - balança, para checagem das medidas, betoneira, para mistura dos materiais, uma esteira que leva o material misturado até a prensa vibratória com os moldes dos blocos e as tábuas de secagem, onde são tirados blocos de três em três.

Após o prazo de cura, de 28 dias, como recomenda a NBR 7184, os blocos foram levados ao laboratório para serem ensaiados quanto à resistência à compressão e absorção de água, obedecendo sempre às normas vigentes, como mostra o Quadro 9.

Quadro 9 – Métodos empregados.

Ensaio Realizado	Norma Utilizada
------------------	-----------------

Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural Massa Unitária da areia	NBR – 7173 da ABNT
Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida	NBR – 12.118 da ABNT
Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão	NBR – 7184 da ABNT

Foi realizado o capeamento dos blocos, (regularização feita com uma pasta de cimento para corrigir eventuais imperfeições nas superfícies dos blocos, para que a peça possa receber a carga de rompimento numa área por igual), conforme as Figuras 19, 20, 21 e 22.



Figura 19 – Execução do capeamento.



Figura 20 – Conferência do prumo.



Figura 21 - Bloco reciclado capeado.

Fonte: Autor (2005)



Figura 22 - Blocos capeados.

E rompidos, conforme as Figuras 23 e 24 para se obter os dados quanto à resistência à compressão. Os resultados encontram-se disponíveis no capítulo 5, Quadro 12.



Figura 23 – Teste de resistência.

Fonte: Autor (2005)



Figura 24 – Momento do rompimento

Outro ensaio muito importante ao qual os blocos foram submetidos é quanto à absorção de água, conforme as normas que constam do Quadro 9, anteriormente apresentado. Os resultados estão no capítulo 5 Quadro 16.

4.6 Minimização de impactos ambientais pelo uso do agregado reciclado

Foram feitas comparações entre os métodos de extração dos materiais naturais com o modo de aquisição dos agregados reciclados, na tentativa de obter percentuais de economia e de ganhos ambientais.

Por isso, também foram analisados o custo e os impactos ambientais causados pelo transporte e extração desses agregados até o consumidor final.

Alguns dados importantes foram levantados junto ao Departamento de Serviços Urbanos, principalmente quanto ao custo e à quantidade de resíduos de construção e demolição no aterro da cidade de Taubaté, e à quantidade de resíduos gerada por habitante.

Os custos e benefícios trazidos pelo emprego do agregado reciclado quando da fabricação de blocos de concreto foram comparados diretamente com os custos e benefícios da utilização de blocos que empregam agregados convencionais.

Os resultados encontram-se no capítulo 5, item 5.4.4.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resíduos de construção e demolição descartados na cidade de Taubaté

De acordo com dados de janeiro de 2005, obtidos junto ao departamento de serviços urbanos, são gerados 250 ton/dia de resíduos de construção e demolição em Taubaté. A cidade é dividida em 4 regionais, todas com maquinário adequado para realizar a limpeza da cidade. Por mês, são depositados no aterro 6.500 toneladas de resíduos. Anualmente, o total é de 97.419,21 toneladas de resíduos de construção e demolição. Cerca de 60% desse montante, segundo dados do departamento responsável pelo aterro, poderia ser reaproveitado. Isso significa que 58.451,52 ton/ano de resíduos que hoje são descartados como lixo poderiam ser reutilizadas.

Entulhos ricos em materiais recicláveis, como restos de concreto, blocos e argamassas, como mostra a Figura 25, são utilizados no aterro para cobrir resíduos

sólidos. Na Figura 26, uma caçamba basculante deposita material de construção e demolição dentro do aterro.



Figura 25 – Entulho descartado em aterro.
Fonte: Autor (2005)



Figura 26 – Caçamba despejando entulho.

Com uma melhor utilização, todo esse volume de resíduos poderia ser transformado em materiais com maior valor agregado, como é o caso da fabricação de blocos, guias, sarjetas, etc.

Com uma população de aproximadamente 350.000 habitantes, a cidade de Taubaté gera o correspondente a 0,715 kg/dia de resíduos de construção e demolição por habitante.

Levando-se em conta os dados acima e, ainda, que o custo médio da disposição em aterro é de R\$ 95,00 por tonelada, temos que: com a reciclagem dos resíduos de construção e demolição, é possível se ter uma economia no custo de disposição de R\$ 5.552.894,40 ao ano.

Além da economia direta através do aproveitamento correto desses resíduos pela reciclagem e a transformação desses resíduos em matérias-primas que poderiam se tornar agregados, há que se levar em conta ainda à redução do impacto ambiental e a preservação do meio-ambiente que essas medidas trariam.

O Quadro 10 mostra a quantidade de resíduos de construção e demolição que foram gerados durante o ano de 2005, na cidade de Taubaté.

Quadro 10 – Quantidade de RCD coletados na cidade de Taubaté.

MÊS DE REFERÊNCIA	TONELADAS / DIA	TONELADAS / MÊS
Janeiro	309,93	7.747,88
Fevereiro	254,42	6.106,05
Março	310,32	8.068,25
Abril	260,75	6.779,68
Mai	289,70	7.532,25
Junho	204,13	5.307,24
Julho	285,88	7.432,78
Agosto	712,96	19.250,09
Setembro	209,00	5.424,00
Outubro	371,04	9.647,04
Novembro	255,76	6.649,86
Dezembro	276,81	7.474,09
	TOTAL	97.419,21 ton/ano

Fonte: Departamento de Serviços Urbanos – Prefeitura Municipal de Taubaté. 2006.

5.2 Cumprimento da Resolução Conama 307

Desde que passou a vigorar a Resolução CONAMA 307, em janeiro de 2005, o município de Taubaté regularizou a situação da disposição dos resíduos de construção e demolição depositados clandestinamente em terrenos baldios, cadastrando e normatizando nove empresas que atuam na atividade da coleta privada, conhecidos, como caçambeiros, punindo com multas aqueles que ainda insistem em jogar esses resíduos em lugares impróprios. Os resíduos de construção e demolição atualmente estão

sendo deslocados para o aterro sanitário da cidade, já que, não existe uma área própria para disposição desses resíduos. No aterro, os RCD são usados para aterrar os resíduos sólidos ali depositados e também para melhorar a pavimentação por onde as máquinas se deslocam para fazer a movimentação dos resíduos.

A Figura 27 mostra uma vista geral do aterro de Taubaté, enquanto a Figura 28 mostra os resíduos de construção e demolição que são utilizados nas estradas para melhorar o acesso dos veículos dentro do aterro.



Figura 27 – Aterro de Taubaté.
Fonte: Autor (2006)



Figura 28 – Entulho nas ruas internas.

5.3 Resultado da Caracterização dos Constituintes do Concreto

A caracterização dos agregados naturais, selecionados e reciclados para a determinação das massas específica e unitária, massa específica saturada e absorção de água, encontra-se no Quadro 11.

Segundo os ensaios realizados, foi constatada uma grande diferença entre os agregados, no que se refere às massas específicas e unitárias dos agregados naturais, selecionados e reciclados.

O que se verificou também foi a grande diferença encontrada entre os agregados naturais e os reciclados quanto à absorção de água, pois essa propriedade depende da composição do entulho que gera o agregado reciclado. Pode ser necessário, neste caso, o ajuste da água na produção dos blocos e de outros materiais de construção que utilizam os agregados reciclados.

Feitos os ensaios nas amostras para determinação da composição granulométrica dos agregados, massa específica, massa unitária e determinação do índice de finura do cimento, foram encontrados os seguintes resultados:

Quadro 11 – Caracterização dos agregados e do cimento.

ENSAIOS	AGREGADOS						AGLOMERANTE
	AMN	AMS	AMR	AGN	AGS	AGR	Cimento
Módulo de finura	2,20	2,84	2,63	5,64	6,12	6,14	-
Dimensão Máxima (mm)	2,40	4,80	4,80	9,50	12,7	12,7	-
Massa Unitária (g/cm ³)	1,44	1,52	1,32	1,43	1,55	1,01	1,14
Massa Esp. Seca (g/cm ³)	2,62	2,62	2,42	2,68	2,65	2,04	3,02
Massa Esp. Saturada (g/cm ³)	-	-	-	2,71	2,65	2,20	-
Absorção (%)	-	-	-	0,96	0,98	8,09	-
Índice de Finura (%)	-	-	-	-	-	-	3,02
Consistência da pasta (mm)	-	-	-	-	-	-	6,03
Expansibilidade (mm)	-	-	-	-	-	-	0,1
Início de Pega (hora)	-	-	-	-	-	-	2:20 h
Fim de pega (hora)	-	-	-	-	-	-	21:20 h

Obs: Média das amostras analisadas.

Onde:

AMN – Agregado miúdo natural

AMS – Agregado miúdo selecionado

AMR – Agregado miúdo reciclado

AGN – Agregado graúdo natural

AGS – Agregado graúdo selecionado

AGR – Agregado graúdo reciclado

Nos ensaios, para determinação da dimensão máxima característica e do módulo de finura, entre os agregados miúdos, houve variação na comparação entre os naturais e os reciclados e misturados. A amostra do agregado natural foi classificada como areia fina e a amostra dos agregados reciclados e selecionados, como areia média.

Quanto aos agregados graúdos, também houve uma variação no que se refere à dimensão máxima característica e módulo de finura quando se comparou os agregados naturais com os reciclados e selecionados. Todos os agregados, no entanto, foram classificados como brita 0.

Na amostra do cimento, verificou-se que os valores das massas e granulometria estão dentro dos padrões estabelecidos pelas normas e que a pasta de cimento apresenta consistência normal.

Quanto à expansibilidade, a amostra de cimento não apresentou alteração alguma. Em relação ao tempo de pega, também se manteve dentro dos padrões estabelecidos pela NBR-3435 da ABNT.

5.4 Dosagem do concreto

Para a elaboração dos traços de concreto para confecção dos corpos de prova, como mostra a Figura 29, primeiramente admitiu-se a resistência mínima exigida,

conforme NBR 7184, que é de 2,5 MPa para resistência média e de 2,0 MPa para resistência individual.



Figura 29 – Preparo da mistura.

Fonte: Autor (2005)

Em seguida, utilizou-se o valor de massa unitária e específica do cimento, da brita 0 e da areia. Juntamente com as etapas descritas no método experimental – IPT, chegou-se a um traço-piloto inicial. A partir deste, fez-se o ajuste e chegou-se ao traço básico.

Com os traços básicos dos agregados naturais, reciclados e selecionados definidos, foram feitos corpos de prova por tipo de traço: - traço básico, auxiliar inferior

e auxiliar superior, rompidos após o período de cura de 28 dias, onde se obteve os seguintes resultados médios, constantes do Quadro 12.

Quadro 12 – Resultado do rompimento dos corpos de prova

Traços	Corpos de Prova (Nºs)	Carga média aplicada (Kg)	Área (cm²)	Resistência (MPa)
Básico Reciclado	1,2,3,4	1.780	78,54	2,53
Pobre Reciclado	1,2,3,4	3.890	78,54	2,26
Rico Reciclado	1,2,3,4	1.910	78,54	4,95
Básico Natural	1,2,3,4	2.730	78,54	4,15
Pobre Natural	1,2,3,4	3.260	78,54	3,47
Rico Natural	1,2,3,4	3.550	78,54	4,51
Básico Seleccionado	1,2,3,4	4.190	78,54	5,33
Pobre Seleccionado	1,2,3,4	3.180	78,54	4,04
Rico Seleccionado	1,2,3,4	6.820	78,54	8,68

Para obtenção dos resultados constantes no quadro, foram elaborados quatro corpos-de-prova, como recomenda a norma e tirada à média dos valores adquiridos após o rompimento deles.

Para a confecção dos corpos de prova, o traço mostrou-se pouco coeso, muito seco, desagregado, com o “slump test” variando de 0 a 1 cm, como comprova a Figura

30, tornando difícil o adensamento. Portanto, na fabricação de blocos é utilizada uma prensa vibratória que compacta este material dentro dos moldes.



Figura 30 – Realização do Slump-test – variação de 0 a 1 cm.

Fonte: Autor (2005)

Analisando-se o Quadro 12, nota-se que apesar dos traços reciclados terem apresentado uma resistência inferior aos demais traços, estes estão de acordo com as normas NBR 7184 e NBR 7173, que estabelecem valores mínimos de resistência, sendo 2,5 MPa para resistência média e de 2,0 MPa para resistência individual.

Com estes ensaios, constata-se que é perfeitamente possível a utilização de materiais reciclados como agregados, assim como sua utilização na confecção de materiais de construção como, neste caso, o bloco de concreto para vedação, pois atende plenamente à resistência mínima exigida por norma.

5.4.1 Resultados das dosagens dos concretos confeccionados.

Para a obtenção das dosagens dos concretos utilizados – agregados selecionados, agregados reciclados e agregados naturais –, foi utilizado o método de dosagem experimental do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

Quadro 13 – Resultados das Dosagens dos concretos.

Concretos	Tipos de traço	Mescla (areia + brita)	Consumo de cimento (Kg/m ³)	Traço (massa)	Resistência à Compressão - 28dias (MPa)
Traço Reciclado	Rico	5,50	273,31	1 : 3,78 : 1,72 : 0,8	4,95
	Básico	6,50	246,03	1 : 4,52 : 1,98 : 0,9	2,53
	Pobre	7,50	221,71	1 : 5,25 : 2,25 : 1	2,26
Traço Natural	Rico	5,50	323,80	1 : 3,88 : 1,62 : 0,8	4,51
	Básico	6,50	270,66	1 : 4,65 : 1,85 : 0,9	4,15
	Pobre	7,50	263,05	1 : 5,39 : 2,11 : 1	3,47
	Rico	5,50	309,19	1 : 3,79 : 1,71 : 0,8	8,68

Traço Selecionado	Básico	6,50	270,01	1 : 4,53 : 1,97 : 0,9	5,33
	Pobre	7,50	250,29	1 : 5,26 : 2,24 : 1	4,04

Utilizando os traços constantes do Quadro 13, foram confeccionados os blocos com os seguintes traços definidos:

Quadro 14 – Traços utilizados para confecção dos blocos.

CONCRETOS	TIPO	TRAÇO UTILIZADO			
		cim	: areia	: brita 0	: água
Traço Reciclado	Rico	1	: 3,78	: 1,72	: 0,8
	Básico	1	: 4,52	: 1,98	: 0,9
	Pobre	1	: 5,25	: 2,25	: 1
Traço Natural	Rico	1	: 3,88	: 1,62	: 0,8
	Básico	1	: 4,65	: 1,85	: 0,9
	Pobre	1	: 5,39	: 2,11	: 1
Traço Selecionado	Rico	1	: 3,79	: 1,71	: 0,8
	Básico	1	: 4,53	: 1,97	: 0,9
	Pobre	1	: 5,26	: 2,24	: 1

5.4.2 Resultados dos ensaios com os blocos de concreto confeccionados.

Confeccionados os blocos e respeitado o prazo de 28 dias para o processo de cura do concreto, eles foram levados ao laboratório, onde passaram por testes quanto à resistência à compressão e absorção de água. Os resultados encontram-se expostos no Quadro 15, abaixo.

Quadro 15 – Resistência à compressão dos blocos ensaiados.

Traços	Corpo de prova	Dimensão média do bloco (cm)	Área média do bloco (cm ²)	Carga média aplicada (Kgf)	Resistência média (MPa)
--------	----------------	------------------------------	--	----------------------------	-------------------------

Rico Reciclado	1,2,3,4,5	39,2 X14,0 X19,1	548,80	35,160	6,40
Básico Reciclado	1,2,3,4,5	39,2 X14,1 X19,0	552,72	17,960	3,24
Pobre Reciclado	1,2,3,4,5	39,2 X14,0 X19,0	548,80	9,430	1,71
Rico Natural	1,2,3,4,5	39,1 X14,1 X19,0	551,31	32,125	5,82
Básico Natural	1,2,3,4,5	39,0 X14,0 X19,1	546,00	15,673	2,87
Pobre Natural	1,2,3,4,5	39,1 X14,0 X19,0	547,40	10,769	1,96
Rico Seleccionado	1,2,3,4,5	39,1 X14,0 X19,1	547,40	28,849	5,27
Básico Seleccionado	1,2,3,4,5	39,0 X14,1 X19,0	549,90	14,383	2,61
Pobre Seleccionado	1,2,3,4,5	39,1 X14,0 X19,1	547,40	10,068	1,83

Obs: Resultados médios obtidos.

Os blocos se mostraram bem uniformes, no que diz respeito à aparência e à textura, adequadas para blocos de alvenaria simples. A diferença só se mostrou na comparação entre um bloco com traço mais pobre e um de traço mais rico, pois o bloco que possuía mais cimento, em função de seu traço, se mostrava mais agregado, mais encorpado.

O que chamou a atenção foi à diferença quanto à coloração, entre o bloco produzido com agregado natural e selecionado com o bloco com agregado reciclado. O bloco reciclado apresentou uma coloração mais marrom, enquanto os outros apresentavam o acinzentado típico dos blocos convencionais. Esse resultado, até certo ponto, já era esperado em função da grande variação de materiais encontrados nas misturas dos agregados reciclados.



Figura 34 – Diferença de coloração entre o bloco reciclado (esquerda) e o convencional.

Fonte: Autor (2005)

Quanto à ruptura, os traços se mostraram bem concisos. Como esperado, constata-se que nos traços básicos, todos ficaram acima da resistência mínima exigida que é de 2,5 MPa, mostrando que os cálculos para obtenção dos traços estavam corretos. Quanto aos de traço rico, estes também se mostraram bem definidos, pois em função da maior quantidade de cimento empregado, adquiriram uma resistência mais alta. Da mesma forma, era de se esperar que nos traços pobres, com uma menor quantidade de cimento empregado, os traços se mostrassem mais fracos, com resistência abaixo da mínima exigida por norma.

O estudo mostrou que, desde a caracterização dos materiais e passando pelos ensaios de confecção dos blocos, os agregados reciclados de resíduos de construção e demolição se mostraram muito semelhantes aos agregados naturais que são utilizados no dia-a-dia, seja somente para o uso como agregado ou na fabricação de elementos de

concreto, mostrando ser perfeitamente possível sua utilização prática e sua transformação em peças úteis, deixando de ser mais um problema, e sim uma possibilidade real de uso.

Com os ensaios realizados, foi possível constatar também a viabilidade de se ter matéria-prima a custo reduzido, proporcionando produtos de concreto mais baratos e econômicos.

5.4.3 Resultados da absorção de água nos blocos.

Os blocos, ao chegarem ao laboratório, foram pesados ao natural, depois colocados numa estufa para se obter os pesos a seco e em seguida imersos em água para se chegar ao peso saturado.

Com os resultados obtidos, conforme Quadro 16, foi possível constatar que nos blocos selecionado e natural, a absorção de água se mostrou dentro dos padrões estabelecidos, enquanto nos blocos reciclados, a absorção ficou elevada quando comparada com a norma NBR 7173, que tem como valor médio 10%, e valor individual 15%, o que vem confirmando os testes anteriores, e os de outros trabalhos já realizados na área. Dessa forma, os ensaios mostraram a real diferença entre os agregados naturais e selecionados quando comparados com os reciclados, no que se refere à absorção de água que sofre o bloco reciclado, muito em função da variabilidade de seus componentes.

Quadro 16 – Valores referentes aos ensaios quanto à absorção de água

Absorção em %

	Bloco Natural			Bloco Reciclado			Bloco Selecionado		
Estado	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9
Seco	11200	10700	11050	9100	9400	8700	8700	8800	8900
Saturado	12000	11500	11850	11300	10500	9800	9700	9600	9700
Natural	11300	10800	11200	9500	9700	9000	9100	9050	9200
Absorção em %	7,1	7,5	7,2	24,2	11,7	12,6	11,5	9,1	9,0
% Média	7,3			16,2			9,9		

Obs: CP = Corpo de Prova.

5.4.4 Resultados obtidos pelo emprego do agregado reciclado

Comparado o consumo de energia, seja para a obtenção de areia ou de brita natural, desde sua extração até o beneficiamento, com a moagem dos resíduos de construção e demolição, constata-se que há uma economia de 50% quando comparado um processo com o outro. Isso ocorre porque, enquanto para a obtenção dos agregados naturais existe o custo de extração e beneficiamento, para a obtenção dos agregados reciclados tem-se apenas o custo de beneficiamento, eliminando-se metade do processo.

Além disso, com a utilização de resíduos reciclados de construção e demolição, pode-se obter uma grande redução no consumo de recursos naturais não-renováveis.

Quanto ao transporte, nota-se cada vez mais que a distância para extração de areias e britas tende a aumentar, em face das dificuldades impostas pelos órgãos que regulam o setor, especialmente nos centros urbanos e nos entornos, enquanto se tem com a reciclagem dos resíduos de construção e demolição um material farto para ser aproveitado, a distâncias bem menores, e sem degradar o meio ambiente.

Com a reciclagem dos resíduos de construção também ocorre uma minimização do volume de resíduos que são depositados nas áreas de aterro, diminuindo o impacto destes sobre o meio-ambiente. Dados do Departamento de Serviços Urbanos da Prefeitura de Taubaté mostram que cerca de 60% dos resíduos hoje depositados em aterros poderiam ser reaproveitados. Em números reais, isso significa que 150 das 250 toneladas de entulho coletadas diariamente na cidade poderiam ter outros destinos, mais úteis para a sociedade e menos degradantes para o meio-ambiente.

Constatado que o aterro funciona de segunda a sábado, resultando em aproximadamente 26 dias trabalhados por mês, chega-se a uma quantidade de 3.900 ton/mês que poderiam ser reaproveitadas. Com um custo médio conhecido de disposição de R\$ 95,00 por tonelada de resíduos, as medidas de reciclagem ocasionariam uma economia de R\$ 370.500,00 por mês para o município.

O reaproveitamento dos materiais traz ganhos e benefícios para o município. Além de aliviar a vida útil do aterro, eles também podem ser usados na confecção de artefatos de concreto e em várias outras atividades ligadas à construção civil.

Na comparação dos custos diretos onde há substituição dos agregados naturais por agregados reciclados, tem-se que, para um traço feito com agregado natural usa-se uma quantidade determinada de areia + Brita 0 + cimento, essa areia e essa brita são adquiridas a um preço de mercado que é de aproximadamente R\$ 20,00 (US\$ 9,30) /m³

para a areia e de R\$ 35,00 (U\$ 16,27) /m³ para a brita 0. Para o agregado reciclado o preço da areia e da brita 0 esta em torno de R\$ 12,00 (U\$ 5,58) /m³.

Empregado para efeito de calculo, na confecção de um traço de concreto, tem-se a quantidade empregada de 0,48 m³ para a areia e de 0,12 m³ para a brita.

Transformando as quantidades em valores, temos que, para os agregados naturais será gasto R\$ 9,60 (U\$ 4,46) com areia e R\$ 4,20 (U\$ 1,95) com brita 0, o que totaliza **R\$ 13,80 (U\$ 6,41)** para um metro cúbico de concreto, enquanto que para os agregados reciclados o custo será de R\$ 5,76 (U\$ 2,67) para a areia e de R\$ 1,44 (U\$ 0,67) para a brita 0, totalizando **R\$ 7,20 (U\$ 3,34) /m³**. Dólar no período variando em U\$ 2,15.

Como o preço dos agregados naturais, totalizam R\$ 13,80 (U\$ 6,41) e dos agregados reciclados totalizam R\$ 7,20 (U\$ 3,34), chega-se a uma economia no custo dos agregados para confecção dos blocos de concreto (sem prejuízo de sua qualidade e dentro dos padrões técnicos exigidos) de aproximadamente **52%**, o que representa não só ganho econômico como também, ganho ambiental para as cidades.

6 CONCLUSÃO

Frente aos dados e resultados obtidos neste estudo, conclui-se que em Taubaté são gerados 250 ton/dia de RCD e que desse montante, 60% poderiam ter um maior valor agregado se fossem melhor aproveitados como no caso da fabricação de blocos e artefatos de concreto; além de possibilitar economia no custo de disposição, reduzir o impacto ambiental a aumentar a vida útil do aterro.

Em Taubaté, desde que passou a vigorar a Resolução CONAMA 307, o município regularizou a situação da disposição dos RCD, e vem deslocando esses resíduos para o aterro da cidade, uma vez que não possui área própria para este destino.

O estudo concluiu que não existe uma grande variação nas propriedades exigidas pelas normas da ABNT quando se compara os resultados dos blocos de concreto tradicionais, com os observados nos blocos produzidos com agregado reciclado no que se refere ao teste de resistência à compressão. Além de atender aos requisitos da norma quanto à resistência, os blocos apresentaram boa aparência, com textura muito próxima à do modelo convencional. As principais diferenças se deram quanto à coloração e a absorção média da água – os blocos com agregado reciclado, de coloração mais marrom, tiveram absorção acima da média estipulada pela norma, enquanto os blocos com agregado natural, com a coloração cinzenta usual, registraram absorção média de acordo com a norma.

Constatada a elevada absorção dos blocos confeccionados com agregados reciclados, propõem-se que, em estudos futuros, afim de se reduzir a absorção, analise-se o uso de aditivos ou substituição parcial dos agregados reciclados, pois nesta pesquisa utilizou-se 100% de agregados reciclados.

No plano econômico, um fator a se destacar é o custo dos agregados reciclados para a confecção dos blocos, que é cerca de 50% inferior ao custo dos agregados utilizados para confecção dos blocos convencionais. Essa diferença acontece pelo fato de que os agregados reciclados, além poderem ser adquiridos a preços mais baixos que os naturais, também requerem gastos menores de energia para serem beneficiados, uma vez que não precisam ser extraídos da natureza, menores gastos com transporte, pois na maioria das vezes são encontrados dentro dos próprios centros urbanos, ao contrário das

reservas naturais de matérias-primas. Com isso, também se elimina o impacto ambiental causado pela extração, assim como aquele causado pela deposição irregular, destino mais comum dos resíduos.

Dessa maneira, fica clara a colaboração que a utilização de resíduos de construção e demolição na produção de agregado reciclado para confecção de blocos de concreto pode ter sobre a preservação tanto do meio-ambiente quanto do meio-urbano, além de diminuir a deterioração visual das cidades e ajudar a economizar recursos naturais não-renováveis, criando mais uma alternativa para o desenvolvimento sustentável.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21 Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD). ECO-92. Rio de Janeiro, 1992. cap. 21.

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

AGOPYAN, V. **Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras**. Relatório Final. São Paulo: EP USP, 5v. 1998.

ÂNGULO, S. C. **Variabilidade de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados** / S. C. Ângulo, V. M. John. – São Paulo: EPUSP, 2001. 16p. – (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/279).

ÂNGULO, S. C.; et al. **Reciclagem de entulho para a produção de argamassas e concretos: uma alternativa viável**. In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Práticas Recomendadas – IBRACON – S.P., 2000.

ASSOCIAÇÃO DOS TRANSBORDADORES DE ENTULHO DE SÃO PAULO (ATESP). **Depósito de classificação e transbordo de materiais gerados pela construção civil**: Breve relato. São Paulo: s/ed., 2000. 4p.

BRITO FILHO, J. A. **Cidades versus entulhos**. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2. 1999. São Paulo. **Anais**. São Paulo: Editora Ibracon, 1999. p. 56-67.

BRUM, I. A. S. **Fabricação de tijolos de solo e entulho reciclado de Salvador estabilizados com cimento**. In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Práticas Recomendadas – IBRACON – S.P., 2000.

BRUM, I. A. S. **Caracterização do entulho de Salvador visando sua reciclagem como material de construção**. In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Práticas Recomendadas – IBRACON – S.P., 2000.

CARNEIRO, A. P.; GOMES, A. O.; SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P.; COSTA, D. B. **Produção de argamassas com adição de entulho reciclado de Salvador**. In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Práticas Recomendadas – IBRACON – S.P., 2000.

CARNEIRO, A. P. **Reciclagem de entulho para produção de materiais de construção** / organizado por Alex Pires Carneiro, Irineu Antonio Schadach de Brum e José Clodoaldo da Silva Cassa. _Salvador: EDUFBA; Projeto Entulho Bom; Caixa Econômica Federal, 2001. 312p.; il.

CASTRO, M. C. A. A. **Avaliação da Eficiência das Operações Unitárias de uma Usina de Reciclagem e Compostagem na Recuperação dos Materiais Recicláveis e na Transformação da matéria Orgânica em Composto**. 1196. 113f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Paulo, 1996.

CINCOTTO, M. A. Utilização de sub-produtos e resíduos na indústria da construção civil. In: Tecnologia de Edificações. São Paulo, Pini/IPT, 1988 p.71-74

CLINTON, W. J. **Federal Acquisition, Recycling and Waste Prevention** (Executive order 12873 of October 20th, 1993). Federal Register, vol 58 n° 203, Friday, October 22nd, 1993, Presidential Documents p. 54911-54919.

COELHO, P. E.; CHAVES, A. P.; DJANIKIAN, J. G. **Reciclagem de entulho de demolição para a preparação de concreto**. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalúrgica Extrativa, 17., 1998, Águas de São Pedro. Anais...São Paulo, 1998.

CONCRETE. **Concrete re-cycled. Crushed concrete as aggregate**. London, v. 27, n.3, p. 9-13, may/jun. 1993.

CONSTRUÇÃO. **Do caos à solução**. São Paulo: Pini. N.2505, p. 4-7, fev. 1996a.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Padrões primários e secundários de qualidade do ar e critérios para episódios agudos de poluição do ar**. Distrito Federal Editora D.O.U., 1990. (Resolução Conama 003/90 de 28-06-90)

DO CAOS à solução. 1996. Revista Construção. São Paulo, n. 2505, fev. (Reportagem de Nanci Corbioli).

EMPRESA DE LIMPEZA URBANA DO ESTADO DA BAHIA (LIMPURB). **Relatório anual de atividade da LIMPURB – 2000**. Salvador, 2000.

EPA Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States. EPA. Report nº EPA 530-R-98-010. 1998 100p.

FONSECA SILVA, E. **Estudo de viabilidade sobre a substituição de agregados naturais por agregados provenientes da reciclagem de entulho de concreto.** In: IV SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – Materiais Reciclados e suas Aplicações. São Paulo. Anais... Ibracon, 2001. p. 227.

HAMASSAKI, L. T. **Uso de entulho como agregado para argamassas de alvenaria.** In: Reciclagem na Construção Civil, Alternativa Econômica para Proteção Ambiental – PCC-USP. São Paulo, 1997. p.12.

HENDRIKS, C. F. **The building cycle.** Ed. Aeneas. Holanda. 2000. 231 p.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, Tese (livre docência). 2000. 102p.

JOHN, V. M. **Panorama sobre a reciclagem na construção civil.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2, 1999. São Paulo. **Anais...** São Paulo: Editora Ibracon, 1999. p. 44-45.

JOHN, V. M. et. al. **Reciclagem de resíduos como materiais de construção.** Conclusões do Workshop. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, n. 1, 1996, São Paulo. **Proceedings.** São Paulo: Editora EPUSP/ANTAC, 1997. p. s.n.

JOHN, V. J.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de resíduos da construção.** Seminário – Reciclagem de Resíduos Sólidos Domiciliares. SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, 2001. Web site <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf> , acessado em 15 de outubro de 2001. 13 p.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição.** Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Escola de Engenharia Civil, Rio Grande do Sul, Brasil, 2001).

LIXO MUNICIPAL: **Manual de Gerenciamento Integrado** / Coordenação: Maria Luiza Otero D’Almeida, André Vilhena – 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. – (Publicação IPT 2622).

NETO, J. C. M. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil** / São Carlos: RiMa, 2005.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 1997. p. 827.

OLIVEIRA, M. J. E; ASSIS, C.S. **Estudo da reciclagem de resíduos gerados pela construção civil.** In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2, 1998, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Editora EDPUCRS, 1998. p. 99-104.

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais descartados pelas obras de construção Civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem.** Rio Claro, 2002. 191p. Tese (doutorado) UNESP.

OLIVEIRA, M. J. E. **Resíduo de Concreto Reciclado.** In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. Práticas Recomendadas – IBRACON – S.P., 2000.

OLIVEIRA, M. J. E.; MATTOS, J. T.; ASSIS. C. S. **Resíduos de concreto: Classe III versus Classe II.** In: Anais do IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – Materiais Reciclados e suas Aplicações – IBRACON – S.P., 2001. p. 87.

OLIVEIRA, M. J. E. **Materiais de construção civil. Dosagem e controle tecnológico do concreto. Método** – Dosagem experimental (racional) – IPT, 2004. p. 2.

PETRUCCI, E. G.R. **Concreto de cimento Portland.** 12. ed. São Paulo: Globo, 1998. 307p.

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos da construção urbana**. São Paulo, 1999. tese (doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 189p.

PINTO, T. P. **Reciclagem de Resíduos da Construção Urbana no Brasil. Situação Atual**. In: Reciclagem na Construção Civil, Alternativa Econômica para Proteção Ambiental – PCC-USP. São Paulo, 1997. p.3.

PINTO, T. P. **Resultados da gestão diferenciada**. Techne, São Paulo, n. 31. p. 31-34, nov. /dez., 1997.

PIT & QUARRY. **Life after demolition**. V 83, n. 1, p. 38-40, 42, jul. 1990.

PRADO, Z. T. F. **Reciclagem de entulho**. In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – Práticas Recomendadas. – IBRACON – S.P., 2000. p.108.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PONTA GROSSA. **Relatório da coleta de lixo do mês de julho 2002**. Ponta Grossa, 2002.

ROCHA, A. L.; NISHIYAMA, L. ; BELLINGIERI, P. H. **Desenvolvimento Urbano e a Questão do entulho. O caso de Uberlândia, MG, Brasil**. Holos Environment, v.4, n.1, p. 6-8, 2004.

SCHEMBERGER, J. **Estudo sobre gestão de Resíduos sólidos da construção civil no município de Ponta Grossa, PR.** In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 6, 2003. São Paulo. **Anais.** São Paulo: Editora Ibracon, 2003. p.15.

SILVA, M. G. et. al. **Reciclagem de cinza de casca de eucalipto e entulho de obra em componentes de construção.** In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL, n. 1, 1996, São Paulo. **Proceedings.** São Paulo: Editora EPUSP/ANTAC, 1997. p. 99-105.

SILVEIRA, G. T. R. **Metodologia de caracterização dos resíduos sólidos, como base para uma gestão ambiental.** Estudo de caso: entulhos da construção civil em Campinas. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Campinas. 1993.

SLU, (1993) Diagnóstico Geral – **Programa para otimização da disposição, da coleta e reciclagem de resíduos de construção em Belo Horizonte,** I&T, Belo Horizonte, MG.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – Aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado** (Distrito Federal, 1999).

SOUZA, U. E.L.; et al. **A minimização das perdas de materiais na construção como caminho para o desenvolvimento sustentável: o caso dos revestimentos de paredes**

internas com argamassa. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 3, 2000. São Paulo. Anais... Ibracon, 2000. p. 91.

TEZUKA, Y. **Guia de utilização de cimento Portland Hidráulico.** São Paulo. Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998. p.49.

ZORDAN, S. E. **Entulho da indústria da construção civil.** Ficha técnica – textos “site” – <http://www.reciclagem.pcc.usp.Br/> - 05-05-1999.

ZORDAN, S. E. **Entulho da indústria da construção civil.** Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos1.htm>> Acesso em: 12 out. 2001.

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

NORMAS TÉCNICAS CITADAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 3432:** Cimento Portland: determinação da composição granulométrica. São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB 3433:** Cimento Portland: determinação da água de pasta. São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB 3434**: Cimento Portland: determinação dos tempos de pega. São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **MB 3435**: Cimento Portland: determinação da expansibilidade de Lê Chatelier. São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **EM 4592- DIN 1060**: determinação da massa unitária do cimento. São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994. p.4.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos. Rio de Janeiro, 1994. p.8.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5750**: Amostragem de concreto fresco: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994. p.8.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6474**: Cimento Portland e outros em pó – determinação da massa específica. Método de ensaio. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7173**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. São Paulo, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7184**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão. São Paulo, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto: Especificações. São Paulo, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: Agregado: determinação da composição granulométrica: método de ensaio. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251**: Agregado em estado solto: Determinação da massa unitária. São Paulo, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7851**: Agregado: determinação da massa unitária da brita 0. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9776**: Agregados: determinação da massa específica em agregado miúdo por meio do frasco de Chapman: método de ensaio. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9937**: Agregados: Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo: método de ensaio. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos: classificação. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos: procedimento. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. São Paulo, 1991.

APÊNDICE

CÁLCULOS PARA CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os ensaios foram elaborados no Laboratório de materiais da Escola de Engenharia Civil da UNITAU com a supervisão dos Técnicos do Laboratório, Sr Renato de Paiva e Sr Jurandir Machado Filho.

Os materiais analisados foram adquiridos no depósito de material de construção Braga & Salles, em Taubaté no dia 21 de março de 2005; junto a fábrica de blocos “Gaúcho” no dia 21 de maio de 2005 e junto ao centro de transbordo e triagem - estação de reciclagem de resíduos de construção e demolição no bairro do Jaçanã em São Paulo, no dia 10 de abril de 2005.

Agregados Naturais

Caracterização da areia:

Origem da areia

Classificação no pedido – Areia média para concreto

Quantidade – 1 metro cúbico

Cava de extração de areia nas margens do Rio Paraíba do Sul

Local: Tremembé-SP

Determinação da Massa Unitária da areia – NBR-7251

Ensaio elaborado no dia 31/03/2005.

Expressão para cálculo da massa unitária da areia:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

Onde:

δ = Massa unitária (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

Dados do Recipiente:

Massa: 4.150 g

Largura: 25,1 cm

Comprimento: 25,2 cm

Altura: 25,4 cm

Volume: 15,5 cm³

1º amostra

$$\delta_{1 \text{ areia}} = \frac{P(\text{total})-P(\text{recip.})}{\text{Volume}} = \frac{26.450-4.150}{15.500} = 1,438 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\delta_{2 \text{ areia}} = \frac{P(\text{total})-P(\text{recip.})}{\text{Volume}} = \frac{26.420-4.150}{15.500} = 1,437 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_{\text{media areia}} = \frac{\delta_{1 \text{ areia}} + \delta_{2 \text{ areia}}}{2} = \frac{1,438 + 1,437}{2} =$$

Conclusão: a média das massas unitárias das amostras analisadas é 1,44 g/cm³.

Determinação da Massa Específica da areia - NBR-9776

Ensaio elaborado no dia 31/03/2005.

Obs: ensaio foi elaborado com o frasco volumétrico de Chapman e o líquido usado foi a água.

Expressão para cálculo da massa específica da areia:

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

Onde:

γ = Massa específica (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

1º amostra

$$\gamma_{1 \text{ areia}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} = \frac{500}{390 - 200} = 2,63 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\gamma_{2 \text{ areia}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} = \frac{500}{390,5 - 200} = 2,62 \text{ g/cm}^3$$

2,625 g/cm ³

$$\gamma_{\text{media areia}} = \frac{\gamma_{1 \text{ areia}} + \gamma_{2 \text{ areia}}}{2} = \frac{2,63 + 2,62}{2} =$$

Conclusão: a média das massas específicas das amostras analisadas é 2,62 g/cm³.

Determinação da Granulometria da areia - NBR-7217

- Diâmetro máximo;
- Módulo de finura;

Ensaio elaborado no dia 31/03/2005.

Peneiras	Massa Retida	Massa Retida Acumulado	% Retido acumulado	Obs
6,35	2,56	2,56	0	
4,78	0,65	3,21	1	
2,40	4,82	8,03	1	Dmax
1,20	36,69	44,72	8	
0,60	169,32	214,07	40	
0,30	184,22	398,29	74	
0,15	108,1	506,39	94	
Resíduo	33,93	540,32	100	
TOTAL	540,32			

Massa da amostra: 540,32 g

Conclusões:

- **Dmax:** dimensão máxima na qual fica retida e acumulada a porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5 %.

$$\mathbf{D \ Max = 2,40mm}$$

- **MF:** modulo de finura é a somatória dos valores retidos acumulados das peneiras da série normal, portanto descontamos a peneira 6,35 e dividimos o resultado por 100.

$$\mathbf{MF = 2,2}$$

Fina = 2,2 a 2,6
Média = 2,6 a 2,9
Grossa = 2,9 a 3,2

Conclui-se que a mostra ensaiada é classificada como **Areia Fina**.

Caracterização da Brita 0 – (Pedrisco)

Origem da brita 0

Classificação no pedido: brita 0 (pedrisco)

Quantidade ½ metro cúbico

Proveniente da pedreira da Serveng em Taubaté/SP

Determinação da Massa Unitária da brita 0 - NBR-7851

Ensaio elaborado no dia 31/03/2005.

Expressão para cálculo da massa unitária da brita 0:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

Onde:

δ = Massa unitária (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

Dados do Recipiente:

Massa: 4.150 g

Largura: 25,1 cm

Comprimento: 25,2 cm

Altura: 24,5 cm

Volume: 15.500 cm³

1º amostra

$$\delta_{1 \text{ brita0}} = \frac{P(\text{total})-P(\text{recip.})}{\text{Volume}} = \frac{26.100 - 4.150}{15.500} = 1,41 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\delta_{2 \text{ brita0}} = \frac{P(\text{total})-P(\text{recip.})}{\text{Volume}} = \frac{26.900 - 4.150}{15.500} = 1,47 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_{\text{media brita0}} = \frac{\delta_{1 \text{ brita0}} + \delta_{2 \text{ brita0}}}{2} = \frac{1,43 + 1,42}{2} = \boxed{1,43 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas unitárias das amostras analisadas é 1,43 g/cm³.

Determinação da Massa Específica da brita 0 - NBR-9937

Ensaio elaborado no dia 31/03/2005.

Método da Balança Hidrostática

Expressão para cálculo da massa específica seca da brita 0:

$$\delta_{\text{seca}} = \frac{M_{\text{seca}}}{V}$$

Onde:

δ seca = Massa unitária seca (g/cm³)

M seca = Massa seca ao ar (g)

V = Volume (cm³)

Expressão para cálculo da massa específica saturada superfície seca da brita 0:

$$\gamma_{\text{sss}} = \frac{M_{\text{úmida}}}{V}$$

Onde:

γ_{sss} = Massa específica saturada superfície seca (g/cm³)

M úmida = Massa úmida (g)

V = Volume (cm³)

Cálculo do volume:

$$V = M_{\text{sss}} - M_{\text{imersa}}$$

Onde:

V = Volume (cm³)

M sss = Massa saturada superfície seca (g)

M imersa = Massa saturada imersa (g)

Cálculo da absorção:

$$A = \frac{M_{\text{sss}} - M_{\text{seca}}}{M_{\text{seca}}}$$

Onde:

A = Absorção (%)

M sss = Massa saturada superfície seca (g)

M seca = Massa seca imersa (g)

1° amostra

$$A_1 = \frac{M_{\text{sss}1} - M_{\text{seca}1}}{M_{\text{seca}1}} = \frac{749,82 - 742,61}{742,61} \times 100 = 0,970 \%$$

$$V_1 \text{ brita0} = M_{\text{sss}1} - M_{\text{imersa}1} = 749,82 - 472,47 = 277,35 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_1 \text{ seca} = \frac{M_{\text{seca}1}}{V_1} = \frac{742,61}{277,35} = 2,678 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_1 \text{ sss} = \frac{M_{\text{sss}1}}{V_1} = \frac{749,82}{277,35} = 2,704 \text{ g/cm}^3$$

2° amostra

$$A_2 = \frac{M_{\text{sss}2} - M_{\text{seca}2}}{M_{\text{seca}2}} = \frac{747,95 - 740,94}{740,94} \times 100 = 0,946 \%$$

$$V_2 \text{ brita0} = M_{\text{sss}2} - M_{\text{imersa}2} = 753,32 - 478,16 = 275,16 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_2 \text{ seca} = \frac{M_{\text{seca}2}}{V_2} = \frac{740,94}{275,16} = 2,690 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_2 \text{ sss} = \frac{M_{\text{sss}2}}{V_2} = \frac{747,95}{275,16} = 2,710 \text{ g/cm}^3$$

$$A_{\text{media}} = \frac{A_1 + A_2}{2} = \frac{0,970 + 0,946}{2} = \boxed{0,96 \%}$$

$$\gamma_{\text{media}}^{\text{brita0 seca}} = \frac{\gamma_1 \text{seca}}{2} + \frac{\gamma_2 \text{seca}}{2} = \frac{2,678 + 2,690}{2} =$$

$$\gamma_{\text{media}}^{\text{brita0 sss}} = \frac{\gamma_1 \text{sss}}{2} + \frac{\gamma_2 \text{sss}}{2} = \frac{2,704 + 2,710}{2} = \boxed{2,707 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas específicas das amostras analisadas é 2,68 g/cm³ para as massas secas ao ar e 2,71 g/cm³ para as massas saturadas com a superfície seca e a absorção média é 0,96%.

Determinação da Granulometria da brita 0 - NBR-7217

- Diâmetro máximo;
- Módulo de finura;

Ensaio elaborado no dia 31/03/2005.

Peneiras	Massa Retida	Massa Retida Acumulado	% Retido acumulado	Obs
9,50	18	18	0,00	
6,35	2.488	2.506	41	
4,78	1.635	4.141	68	
2,40	1.700	5.841	96	
1,20		5.841	100	
0,60		5.841	100	
0,30		5.841	100	
0,15		5.841	100	
Resíduo	228	6069	550	
TOTAL	6.609			

Massa da amostra: 6.609 g

Conclusões:

- **Dmax:** dimensão máxima na qual fica retida e acumulada a porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5 %.

$$\mathbf{Dmax = 9,5mm}$$

- **MF:** modulo de finura é a somatória dos valores retidos acumulados das peneiras da série normal, portanto descontamos a peneira 6,35 e dividimos o resultado por 100.

$$\mathbf{MF = 5,64}$$

Caracterização do Agregante

Caracterização do Cimento Portland

CP II E 32 – NBR 11.578 – Cimento Portland

Cor: Cinza

Embalagem: Saco de 50 Kg

Origem do Cimento

Marca: Liz Soeicon S/A

Data de fabricação: 03/2005

Data de validade: 05/2005

Determinação da Massa Unitária do cimento - EN 459-2 DIN 1060

Ensaio elaborado no dia 30/03/2005.

Expressão para cálculo da massa unitária do cimento:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

V

Onde:

δ = Massa unitária (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

1º amostra

$$\delta_{1 \text{ cim}} = \frac{\text{Massa(total)} - \text{Massa(recip.)}}{\text{Volume}} = \frac{1.292,86 - 190,63}{1.000} = \frac{1.102,23}{1.000} = 1,102 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\delta_{2 \text{ cim}} = \frac{\text{P(total)} - \text{P(recip.)}}{\text{Volume}} = \frac{1.371,03 - 189,98}{1.000} = \frac{1.181,50}{1.000} = 1.181 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_{\text{media cim}} = \frac{\delta_{1 \text{ cim}} + \delta_{2 \text{ cim}}}{2} = \frac{1,102 + 1,181}{2} =$$

1,14 g/cm ³

Conclusão: a média das massas unitárias das amostras analisadas é 1,14 g/cm³.

Determinação da Massa Específica do cimento – NBR-6474

Ensaio elaborado no dia 30/03/2005.

Obs: ensaio foi elaborado com frasco volumétrico de Le Chatelier e o líquido usado foi a querosene.

Expressão para cálculo da massa específica do cimento:

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

Onde:

γ = Massa específica (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

1º amostra

$$\gamma_{1 \text{ cim}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} = \frac{60}{20,7 - 0,7} = 3,00 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\gamma_{2 \text{ cim}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} = \frac{60}{20,5 - 0,7} = 3,04 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{media cim}} = \frac{\gamma_{1 \text{ cim}} + \gamma_{2 \text{ cim}}}{2} = \frac{3,00 + 3,04}{2} = \boxed{3,02 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas específicas das amostras analisadas é 3,02 g/cm³.

Determinação da Finura do cimento – NBR-3432

Ensaio elaborado no dia 30/03/2005.

Expressão para cálculo da finura do cimento:

$$F = \frac{R \times C}{M} \times 100$$

Onde:

F = índice de finura (%)

R = resíduo retido na peneira 75 µm (n° 200) (g)

M = massa inicial da amostra (g)

C = Fator de correção da peneira = 1,00 (±0,20)

1° amostra

$$F_1 \text{ cim} = \frac{\text{Resíduo Seco} \times 1,00}{\text{Massa da Amostra}} \times 100 = \frac{1,50\text{g} \times 1,00}{50\text{g}} \times 100 = 3,00\%$$

2° amostra

$$F_2 \text{ cim} = \frac{\text{Resíduo Seco} \times 1,00}{\text{Massa da Amostra}} \times 100 = \frac{1,52\text{g} \times 1,00}{50\text{g}} \times 100 = 3,04\%$$

$$F_{\text{media}} \text{ cim} = \frac{F_1 \text{ cim} + F_2 \text{ cim}}{2} = \frac{3,00 + 3,04}{2} = \boxed{3,02\%}$$

Conclusão: na média das amostras analisadas 3,02% dos grãos ficarão retidos na peneira 75 µm (n° 200).

Determinação da Água de Pasta do cimento – MB-3433

Ensaio elaborado compreendido entre os dias 30/03/2005 a 08/03/05.

Na execução do ensaio, observado as condições do ambiente, a mistura água + cimento (água de pasta), analisada no molde durante 5 minutos e sonda de Tetmajer, apresentou índice de consistência de 6,03 %, sendo considerada normal. Obs: Tolerância normal do índice de consistência normal varia de (6 +/- 1).

Determinação da Expansibilidade do cimento - MB-3435

Conclusão: Após 7 dias imerso em água, as agulhas de Lê Chatelier não apresentaram abertura, concluindo-se que $e=0$.

Determinação dos Tempos de Pega do cimento MB-3434

No ensaio realizado, o início e fim do tempo de pega ocorreram no intervalo compreendido entre as 2:20 hs a 14:00 hs.

Determinação da Dosagem do concreto com brita 0

O método adotado para elaboração dos traços do concreto dos blocos foi o do IPT.

Método Experimental para dosagem de concreto (brita 0) - IPT

Concreto (brita 0)

Cimento: CP II E 32

Adensamento Mecânico

“Slump” = 1 (+/- 0,5) mm

$F_{ck_{28d}} = 2,5$ MPa (bloco)

Massa Unitária: $\delta_{\text{cimento}} = 1,14$ Kg/dm³

Massa específica: $\gamma_{\text{cimento}} = 3,02$ Kg/dm³

Dados da Brita 0:

Massa Unitária: $\delta_{\text{brita0}} = 1,43$ g/cm³ = 1,43 Kg/dm³

Massa específica: $\gamma_{\text{brita0}} = 2,68$ g/cm³ = 2,68 Kg/dm³

Granulometria: brita nº 0, Dmax = 9,5 mm, MF = 5,64

Dados da Areia:

Massa Unitária: $\delta_{\text{areia}} = 1,44 \text{ g/cm}^3 = 1,44 \text{ Kg/dm}^3$

Massa específica: $\gamma_{\text{areia}} = 2,65 \text{ g/cm}^3 = 2,65 \text{ Kg/dm}^3$

Granulometria: Areia Fina, Dmax = 2,40mm, MF = 2,2

1º Etapa: Resistência Média de dosagem

$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \times S_d$ norma – $F_{ck} = 2,5 \text{ mpa}$ / $S_d = 4,0 \text{ mpa}$ – controle rigoroso

$$F_{c_{28}} = 2,5 + 1,65 \times 4,0$$

$$F_{c_{28}} = 9,1 \text{ MPa}$$

2º Etapa: Dimensão Máxima Característica do Agregado Graúdo (brita 0)

brita nº 0

Dmax = 9,5 mm,

3º Etapa: Estimativa da relação água / cimento

Para o CP II E 32:

$$F_{cj} = \frac{158}{23\%} \rightarrow 9,1 = \frac{158}{23\%} \rightarrow 23\% \times 9,1 = 158 \rightarrow 23\% = \frac{158}{9,1} \rightarrow \boxed{23\% = 17,36}$$

$$\log 23^x = \log 17,36 \rightarrow x \times \log 23 = \log 17,36 \rightarrow x = \frac{\log 17,36}{\log 23} \rightarrow \underline{1,24} \rightarrow$$

x =

0,90

$$\log 23 \quad 1,36$$

4° Etapa: Estimativa de H: Água/materiais secos

$$D_{\max} = 9,5 \text{ mm} \rightarrow H = 0,12$$

“Slump” de 60 a 80 mm

5° Etapa: Estimativa da mescla : Teor de agregados (brita 0)

$$m = \frac{x}{H} - 1$$

$$m = \frac{0,90}{0,12} - 1$$

$$m = 6,50$$

6° Etapa: Estimativa de b: (Teor de brita 0)

Admitido $V_{\text{ar}} \text{ aprisionado} = 3\%$

$$b = \frac{\frac{m}{\gamma_{\text{areia}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{cimento}}} + x}{\frac{1 - 0,03}{\delta_{\text{brita0}}} - \frac{1}{\gamma_{\text{brita0}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{areia}}}}$$

$$b = \frac{\frac{6,50}{2,62} + \frac{1}{3,02} + 0,90}{\frac{0,97}{1,43} - \frac{1}{2,68} + \frac{1}{2,62}}$$

$$b = \frac{2,48 + 0,33 + 0,90}{0,67 - 0,37 + 0,38}$$

$$b = 5,45$$

$$\rightarrow m = a + b$$

$$\rightarrow a = m - b$$

$$\rightarrow a = 6,50 - 4,45$$

$$a = 1,05$$

7º Etapa: Traço Piloto (brita 0)

1	:	1,05	:	5,45	:	0,9
cim		areia		brita 0		água

8º Etapa: Ajuste do Traço Piloto (brita 0)

Para o ajuste do traço piloto do concreto obtido com pedra britada de dimensão característica de 9,5 mm, em massa, procedeu-se o argamassamento, conforme descrito a seguir:

Calculo do consumo do cimento

$$C = \frac{1.000}{\frac{1}{\gamma_{\text{cimento}}} + \frac{a}{\gamma_{\text{areia}}} + \frac{b}{\gamma_{\text{brita0}}} + 0,9} = \frac{1.000}{\frac{1}{3,02} + \frac{a}{2,62} + \frac{b}{2,68} + 0,9} = \frac{1.000}{0,33 + 0,40 + 2,03 + 0,9} =$$

$$C = \frac{1.000}{3,76} = \boxed{C = 273 \text{ kg/m}^3}$$

Produzir 32 litros de concreto = 0,032 m³

$$\frac{1\text{m}^3}{0,032} \frac{273 \text{ kg}}{Cx} \rightarrow Cx = \frac{273 \times 0,032}{1} \rightarrow \boxed{Cx = 8,74}$$

Calculo das quantidades dos materiais

Traço	Cx	-	Quantidade (kg)	Para 0,032 m ³ de concreto
1	X 8,74	-	8,74	volume do traço = p/
1,05	X 8,74	-	9,17	TRAÇO PILOTO
5,45	X 8,74	-	47,63	(1) Slump / (4) Cps = 10X20 cm
0,90	X 8,74	-	7,86	

$$\text{Ajuste do traço padrão} = \text{Bloco} = \delta = 0,75 \rightarrow \boxed{75\%}$$

$$\delta_{tp} = \frac{1+a}{1+m} = \frac{\delta_{tp} = 1+1,05}{1+6,50} = \delta_{tp} = 0,27 \rightarrow \boxed{\delta_{tp} = 27\%}$$

$$\text{TRAÇO PADRÃO} = \boxed{8,74 : 9,17 : 47,63 : 7,86}$$

cim areia brita 0 água

9º Etapa: 1º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 50 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m' = (a + \text{acrécimo}) + b$$

$$m = (8,74 + 50) + 47,63 = 106,80 \text{ Kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ _____ } 6,5 \\ C_{1^a} \text{ _____ } 106,80 \end{array} \quad C_{1^a} = \frac{106,80 \times 1}{6,5} \rightarrow \boxed{C_{1^a} = 16,43 \text{ Kg}}$$

$$X = \frac{A}{C} \rightarrow 0,9 = \frac{A}{16,43} \rightarrow A_{H_2O} = 16,43 \times 0,90 \rightarrow \boxed{A_{H_2O} = 14,78 \text{ l}}$$

Cimento	= 16,43 Kg		(÷ 16,43)
Areia	= 59,17 Kg		
Brita 0	= 47,63 Kg		
Água	= 14,78 litros		

1	:	3,60	:	2,90	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\delta_{1^a} = \frac{1+a}{1+m} = \frac{\delta_{1^a} = 1+3,60}{1+6,50} = \delta_{1^a} = 0,61 \rightarrow \boxed{\delta_{1^a} = 61\%}$$

10º Etapa: 2º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 20 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m'' = (a + \text{acrécimo}) + b$$

$$m = (59,17 + 20) + 47,63 = 126,80 \text{ Kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$\frac{1}{C_{1^a}} = \frac{6,5}{126,80} \quad C_{1^a} = \frac{126,80 \times 1}{6,5} \rightarrow \boxed{C_{1^a} = 19,50 \text{ Kg}}$$

$$X = \frac{A}{C} \rightarrow 0,9 = \frac{A}{19,50} \rightarrow A_{H_2O} = 19,50 \times 0,90 \rightarrow \boxed{A_{H_2O} = 17,55 \text{ l}}$$

Cimento	= 19,50 Kg		(÷ 19,50)
Areia	= 79,17 Kg		
Brita 0	= 47,63 Kg		
Água	= 17,55 litros		

1	:	4,069	:	2,44	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\delta_{2^a} = \frac{1+a}{1+m} = \frac{1+4,06}{1+6,50} = \delta_{2^a} = 0,67 \rightarrow \boxed{\delta_{2^a} = 67\%}$$

11º Etapa: 3º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 20 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m''' = (a + \text{acréscimo}) + b$$

$$m = (79,17 + 20) + 47,63 = 146,80 \text{ Kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$1 \frac{\text{Cimento}}{\text{Areia}} = 6,5 \quad C_{1^a} = \frac{146,80 \times 1}{6,5} \rightarrow \boxed{C_{1^a} = 22,58 \text{ Kg}}$$

$$X = \frac{A}{C} \rightarrow 0,9 = \frac{A}{22,58} \rightarrow A_{H_2O} = 22,58 \times 0,90 \rightarrow \boxed{A_{H_2O} = 20,32 \text{ l}}$$

Cimento	= 22,58 Kg		(÷ 22,58)
Areia	= 99,17 Kg		
Brita 0	= 47,63 Kg		
Água	= 20,32 litros		

1	:	4,39	:	2,11	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\delta_{3^a} = \frac{1 + a}{1 + m} = \frac{1 + 4,39}{1 + 6,50} = \delta_{3^a} = 0,71 \rightarrow \boxed{\delta_{3^a} = 71\%}$$

12º Etapa: 4º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 10 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m'''' = (a + \text{acréscimo}) + b$$

$$m = (99,17 + 20) + 47,63 = 166,80 \text{ Kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$1 \frac{\quad}{\quad} 6,5 \quad C_{1^a} = \frac{166,80 \times 1}{6,5} \rightarrow \boxed{C_{1^a} = 25,66 \text{ Kg}}$$

$$C_{1^a} \frac{\quad}{\quad} 166,80$$

$$X = \frac{A}{C} \rightarrow 0,9 = \frac{A}{25,66} \rightarrow A_{H_2O} = 25,66 \times 0,90 \rightarrow \boxed{A_{H_2O} = 23,09 \text{ l}}$$

Cimento	= 25,66 Kg		(÷ 25,66)
Areia	= 119,17 Kg		
Brita 0	= 47,63 Kg		
Água	= 23,09 litros		

1	:	4,65	:	1,85	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\delta_{4^a} = \frac{1 + a}{1 + m} = \frac{\delta_{4^a} = 1 + 4,65}{1 + 6,50} = \delta_{4^a} = 0,75 \rightarrow \boxed{\delta_{4^a} = 75\%}$$

13º Etapa: Traço básico (brita 0)

TRAÇO BÁSICO

=

1	:	4,65	:	1,85	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

Cálculo do consumo de cimento – Traço Básico

$$c_{\text{Básico}} = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a_{\text{Básico}}}{\gamma_a} + \frac{b_{\text{Básico}}}{\gamma_b} + x_{\text{Básico}}}$$

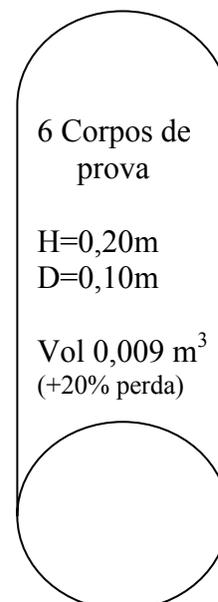
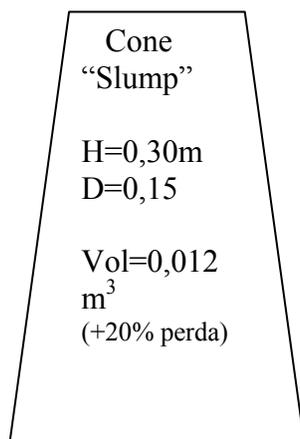
$$c_{\text{Básico}} = \frac{1000}{\frac{1}{3,02} + \frac{2,62}{2,65} + \frac{2,68}{2,61} + 0,90}$$

$$c_{\text{Básico}} = \frac{1000}{0,33 + 1,77 + 0,69 + 0,90}$$

$$c_{\text{Básico}} = \frac{1000}{0,33 + 1,77 + 0,69 + 0,90}$$

$$c_{\text{Básico}} = 271 \text{Kg} / \text{m}^3$$

Cálculo do volume de concreto para elaborar um ensaio de consistência (slump) do concreto (brita 0) e moldar 6 corpos de prova.



Cálculo do Slump.

$$SL = 1 \times \pi d^2 \times h \rightarrow SL = 1 \times 3,14 \times 0,15^2 \times 0,30 \rightarrow$$

$$SL = 0,0053 \text{ m}^3$$

4

4

Cálculo do Corpo de prova.

$$CP = 6 \times \frac{\pi d^2}{4} \times h \rightarrow CP = 6 \times \frac{3,14 \times 0,10^2 \times 0,20}{4} \rightarrow CP = 0,0094 \text{ m}^3$$

Cálculo do volume de concreto para ensaio.

$$V_c = (SL + CP) \times 1,3 \rightarrow V_c = (0,0053 + 0,0094) \times 1,3 \rightarrow V_c = 0,02 \text{ m}^3$$

Volume de concreto para os ensaios = 0,020 m³

$$\frac{1}{0,020} C \rightarrow \frac{1}{0,020} 271 \rightarrow C_{TB} = 5,40 \text{ kg}$$

Consumo de cimento para os ensaios do traço Básico será:

$$C_{TB} = V_c \times C_{\text{básico}} \rightarrow C_{TB} = 0,020 \times 271 \rightarrow C_{TB} = 5,40 \text{ Kg de cimento}$$

Para o ensaio do concreto, seguindo o traço Básico usaremos:

14,4 Kg de areia

21,6 Kg de brita 0

4,5 Kg de água

14° Etapa: Traço auxiliar inferior (TAI) (brita 0) – (m – 1)

$$\alpha = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{1 + m_{\text{inferior}}}$$

$$m_{\text{inferior}} = (m_{\text{básico}} - 1)$$

$$m_{\text{inferior}} = a_{\text{inferior}} + b_{\text{inferior}}$$

$$\frac{X_{\text{básico}}}{\alpha} = X_{\text{inferior}}$$

$$1 + m_{\text{básico}} = 1 + m_{\text{inferior}}$$

Onde:

α = porcentagem do argamassamento (%)

a_{inferior} = Massa da areia do traço auxiliar inferior – TAI (g)

$a_{\text{básico}}$ = Massa da areia do traço básico (g)

$m_{\text{básico}}$ = Massa da mescla de areia e brita do traço básico (g)

m_{inferior} = Massa da mescla de areia e brita do traço auxiliar inferior – TAI (g)

b_{inferior} = Massa de brita do traço auxiliar inferior – TAI (g)

$x_{\text{básico}}$ = Fator água x cimento do traço básico

x_{inferior} = Fator água x cimento do traço auxiliar inferior - TAI

Calculo da areia:

$$\frac{1 + a_{\text{básico}}}{1 + m} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{1 + (4,0-1)} \rightarrow \frac{1 + 4,10}{1 + m} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{m} \rightarrow \frac{5,10}{7,50} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{6,50} \rightarrow$$

$$a_{\text{inferior}} = \frac{6,50 \times 5,10 - 1}{7,50} \rightarrow$$

$$a_{\text{inferior}} = 3,42$$

Fator da relação água x cimento (não muda)

$$\frac{x_{\text{básico}}}{1 + m_{\text{básico}}} = \frac{x_{\text{inferior}}}{1 + m_{\text{inferior}}} \rightarrow \frac{0,28}{7,50} = \frac{x_{\text{inferior}}}{6,50} \rightarrow x_{\text{inferior}} = \frac{6,50 \times 0,28}{7,50}$$

$$x_{\text{inferior}} = 0,24$$

Traço auxiliar inferior (TAI) (brita 0)

$$1 : 3,42 : 1,74 : 0,24$$

cim areia brita 0 água

15ª Etapa: Traço auxiliar superior (TAS) (brita 0) – (m + 1)

$$\alpha = \frac{1 + a_{\text{superior}}}{1 + m_{\text{superior}}}$$

$$m_{\text{superior}} = (m_{\text{básico}} + 1)$$

$$m_{\text{superior}} = a_{\text{superior}} + b_{\text{superior}}$$

$$\frac{x_{\text{básico}}}{1 + m_{\text{básico}}} = \frac{x_{\text{superior}}}{1 + m_{\text{superior}}}$$

Onde:

α = porcentagem do argamassamento (%)

a_{superior} = Massa da areia do traço auxiliar superior – TAS (g)

$a_{\text{básico}}$ = Massa da areia do traço básico (g)

$m_{\text{básico}}$ = Massa da mescla de areia e brita do traço básico (g)

m_{superior} = Massa da mescla de areia e brita do traço auxiliar superior – TAS (g)

b_{superior} = Massa de brita do traço auxiliar superior – TAS (g)

$x_{\text{básico}}$ = Fator água x cimento do traço básico

x_{superior} = Fator água x cimento do traço auxiliar superior - TAS

Calculo da areia:

$$\frac{1+a_{\text{basico}}}{1+m} = \frac{1+a_{\text{superior}}}{1+(4,0+1)} \rightarrow \frac{1+4,10}{1+m} = \frac{1+a_{\text{superior}}}{1+m+1} \rightarrow \frac{5,10}{7,50} = \frac{1+a_{\text{superior}}}{8,50} \rightarrow$$

$$a_{\text{superior}} = \frac{8,50 \times 5,10 - 1}{7,50} \rightarrow$$

$a_{\text{superior}} = 4,78$

Fator da relação água x cimento (não muda)

$$\frac{x_{\text{básico}}}{1 + m_{\text{básico}}} = \frac{x_{\text{superior}}}{1 + m_{\text{superior}}}$$

$$1 + m_{\text{básico}} = 1 + m_{\text{superior}}$$

$$\frac{0,28}{1 + 6,50} = \frac{x_{\text{superior}}}{1 + 6,50 + 1} \rightarrow x_{\text{superior}} = \frac{8,50 \times 0,28}{7,50} \rightarrow$$

$x_{\text{superior}} = 0,31$

Traço auxiliar superior (TAS) (brita 0)

1 : 4,78 : 1,74 : 0,31 cim areia brita 0 água
--

Agregados Naturais Selecionados**Caracterização da areia****Origem da areia**

Classificação no pedido – Areia média para concreto

Quantidade – 1 metro cúbico

Cava de extração de areia nas margens do Rio Paraíba do Sul

Local: Tremembé - SP

Determinação da Massa Unitária da areia – NBR-7251

Expressão para cálculo da massa unitária da areia:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

Onde:

δ = Massa unitária (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

Dados do Recipiente:

Massa: 4.150 g

Largura: 25,1 cm

Comprimento: 25,2 cm

Altura: 25,4 cm

Volume: 15,5 cm³

1º amostra

$$\delta_{1\text{areia}} = \frac{P(\text{total}) - P(\text{recipiente})}{\text{Volume}} \rightarrow \delta_{1\text{areia}} = \frac{27.710 - 4.150}{15.500} = 1,52 \text{ kg/dm}^3$$

2º amostra

$$\delta_{2\text{areia}} = \frac{P(\text{total}) - P(\text{recipiente})}{\text{Volume}} \rightarrow \delta_{2\text{areia}} = \frac{27.772 - 4.150}{15.500} = 1,524 \text{ kg/dm}^3$$

$$\delta_{\text{média areia}} = \frac{\delta_{1\text{areia}} + \delta_{2\text{areia}}}{2} \rightarrow \delta_{\text{média areia}} = \frac{1,52 + 1,524}{2} = \boxed{1,522 \text{ kg/dm}^3}$$

Conclusão: a média das massas unitárias das amostras analisadas é 1,52 g/dm³.

Determinação da Massa Específica da areia - NBR-9776

Obs: ensaio foi elaborado com o frasco volumétrico de Chapman e o líquido usado foi a água.

Expressão para cálculo da massa específica da areia:

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

Onde:

γ = Massa específica (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

1º amostra

$$\gamma_{1\text{areia}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} \rightarrow \gamma_{1\text{areia}} = \frac{500}{391 - 200} \rightarrow 2,62 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\gamma_{2\text{areia}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} \rightarrow \gamma_{2\text{areia}} = \frac{500}{391,5 - 200} \rightarrow 2,61 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{médiaareia}} = \frac{\gamma_{1\text{areia}} + \gamma_{2\text{areia}}}{2} \rightarrow \gamma_{\text{médiaareia}} = \frac{2,62 + 2,61}{2} \rightarrow \boxed{2,62 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas específicas das amostras analisadas é 2,62 g/cm³.

Determinação da Granulometria da areia - NBR-7217

- Diâmetro máximo;
- Módulo de finura;

Ensaio elaborado no dia 24/05/2005.

Peneiras	Massa Retida	Massa Retida Acumulado	% Retido acumulado	Obs
4,80	0,00	0,00	0,0	Dmax
2,40	140,00	17,39	17,0	
1,20	99,00	12,29	29,50	
0,60	212,00	26,33	56,0	
0,30	232,00	28,81	84,50	
0,15	102,00	12,67	97,00	
Resíduo	20,00	2,48	100,0	
TOTAL	805,00			

Massa da amostra: 805,00 g

Conclusões:

- **Dmax:** dimensão máxima na qual fica retida e acumulada a porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5 %.

D Max = 4,80mm

- **MF:** modulo de finura é a somatória dos valores retidos acumulados das peneiras da série normal, portanto descontamos a peneira 6,35 e dividimos o resultado por 100.

$$MF = 2,84$$

$$\text{Fina} = 2,2 \text{ a } 2,6$$

$$\text{Média} = 2,6 \text{ a } 2,9$$

$$\text{Grossa} = 2,9 \text{ a } 3,2$$

Conclui-se que a mostra ensaiada é classificada como **Areia Média**.

Caracterização da Brita 0

Origem da brita 0

Classificação no pedido: brita 0

Quantidade ½ metro cúbico

Centro de Transbordo e Triagem – Estação de Reciclagem de Resíduos de construção e demolição

Local: São Paulo – Bairro do Jaçanã - Capital

3.2.2.3- Determinação da Massa Unitária da brita 0 - NBR-7851

Expressão para cálculo da massa unitária da brita 0:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

Onde:

δ = Massa unitária (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

Dados do Recipiente:

Massa: 4.150 g

Largura: 25,1 cm

Comprimento: 25,2 cm

Altura: 24,5 cm

Volume: 15.500 cm³

1º amostra

$$\delta_{1_{brita}} = \frac{P(total) - P(recipiente)}{Volume} \rightarrow \delta_{1_{brita}} = \frac{34.685 - 4.150}{19.700} \rightarrow 1,55 \text{ c/dm}^3$$

2º amostra

$$\delta_{1_{brita}} = \frac{P(total) - P(recipiente)}{Volume} \rightarrow \delta_{1_{brita}} = \frac{34.724 - 4.150}{19.700} \rightarrow 1,55 \text{ c/dm}^3$$

$$\delta_{\text{média areia}} = \frac{\delta_{1_{areia}} + \delta_{2_{areia}}}{2} \rightarrow \delta_{\text{média areia}} = \frac{1,55 + 1,55}{2} \rightarrow \boxed{1,55 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas unitárias das amostras analisadas é 1,55 g/cm³.

3.2.2.4 - Determinação da Massa Específica da brita 0 - NBR-9937

Método da Balança Hidrostática

Expressão para cálculo da massa específica seca da brita 0:

$$\delta_{\text{seca}} = \frac{M_{\text{seca}}}{V}$$

Onde:

δ seca = Massa unitária seca (g/cm³)

M seca = Massa seca ao ar (g)

V = Volume (cm³)

Expressão para cálculo da massa específica saturada superfície seca da brita 0:

$$\gamma_{sss} = \frac{M_{umida}}{V}$$

Onde:

γ_{sss} = Massa específica saturada superfície seca (g/cm³)

M úmida = Massa úmida (g)

V = Volume (cm³)

Cálculo do volume:

$$V = M_{sss} - M_{imersa}$$

Onde:

V = Volume (cm³)

M sss = Massa saturada superfície seca (g)

M imersa = Massa saturada imersa (g)

Cálculo da absorção:

$$A = \frac{M_{sss} - M_{seca}}{M_{seca}}$$

Onde:

A = Absorção (%)

M sss = Massa saturada superfície seca (g)

M seca = Massa seca imersa (g)

1º amostra

$$A_{NC} = \frac{M_{sss1} - M_{sec a1}}{M_{sec a1}} \times 100 \quad \rightarrow \quad A_{NC} = \frac{724,11 - 723,37}{723,37} \times 100$$

$$A_{NC} = \frac{0,74}{723,37} \times 100 \quad \rightarrow \quad \boxed{A_{NC} = 0,10\%}$$

$$V_{1brita0} = M_{sss1} - M_{imersa1} \quad \rightarrow \quad V_{1brita0} = 724,11 - 451,00 = 273,11 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{1sec a} = \frac{M_{sec a1}}{V_1} \quad \rightarrow \quad \gamma_{1sec a} = \frac{723,37}{273,11} = 2,648 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{1sss} = \frac{M_{sss1}}{V_1} \quad \rightarrow \quad \gamma_{1sss} = \frac{724,11}{273,11} = 2,651 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$A_2 = \frac{M_{sss2} - M_{sec a2}}{M_{sec a2}} \times 100 \quad \rightarrow \quad A_2 = \frac{724,22 - 723,53}{723,53} \times 100$$

$$A_2 = \frac{0,69}{723,53} \times 100 \quad \rightarrow \quad \boxed{A_2 = 0,953 \%}$$

$$V_{2brita0} = M_{sss2} - M_{imersa2} \quad \rightarrow \quad V_{2brita0} = 724,22 - 465,10 = 273,16 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{2sec a} = \frac{M_{sec a2}}{V_2} \quad \rightarrow \quad \gamma_{2sec a} = \frac{723,53}{273,16} = 2,648 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{2sss} = \frac{M_{sss2}}{V_2} \quad \rightarrow \quad \gamma_{2sss} = \frac{728,47}{273,16} = 2,666 \text{ g/cm}^3$$

$$A_{média} = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad \rightarrow \quad A_{média} = \frac{0,10 + 0,953}{2} = \boxed{0,98 \%}$$

$$\gamma_{\text{média brita } 0_{\text{sec a}}} = \frac{\gamma_{1_{\text{sec a}}} + \gamma_{2_{\text{sec a}}}}{2} \rightarrow \gamma_{\text{média brita } 0_{\text{sec a}}} = \frac{2,648 + 2,648}{2} = \boxed{2,65}$$

g/cm³

$$\gamma_{\text{média brita } 0_{\text{sss}}} = \frac{\gamma_{1_{\text{sss}}} + \gamma_{2_{\text{sss}}}}{2} \rightarrow \gamma_{\text{média brita } 0_{\text{sss}}} = \frac{2,651 + 2,666}{2} = \boxed{2,65 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas específicas das amostras analisadas é 2,65 g/cm³ para as massas secas ao ar e 2,65 g/cm³ para as massas saturadas com a superfície seca e a absorção média é 0,98%.

Determinação da Granulometria da brita 0 - NBR-7217

- Diâmetro máximo;
- Módulo de finura;

Ensaio elaborado no dia 27/05/2005.

Peneiras	Massa Retida	Massa Retida Acumulado	% Retido acumulado	Obs
19,1	0,00	0,00	0,00	
12,7	66,00	2,47	2,0	Dmax
9,5	262,00	9,80	12,0	
6,35	1.490,00	55,78	68,0	
4,8	853,00	31,93	100,0	
TOTAL	2.671			

Massa da amostra: 2.671 g

Conclusões:

- **Dmax:** dimensão máxima na qual fica retida e acumulada a porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5 %.

Dmax = 12,7mm

- **MF:** modulo de finura é a somatória dos valores retidos acumulados das peneiras da série normal, portanto descontamos a peneira 6,35 e dividimos o resultado por 100.

$$\mathbf{MF = 6,12}$$

Caracterização do Agregante

Caracterização do Cimento Portland

CP II E 32 – NBR 11.578 – Cimento Portland

Cor: Cinza

Embalagem: Saco de 50 Kg

Origem do Cimento

Marca: Liz Soeicon S/A

Data de fabricação: 03/2005

Data de validade: 05/2005

Determinação da Massa Unitária do cimento - EN 459-2 DIN 1060

Expressão para cálculo da massa unitária do cimento:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

Onde:

δ = Massa unitária (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

1º amostra

$$\delta_{1\text{cimento}} = \frac{\text{Massa}(\text{total}) - \text{Massa}(\text{recip.})}{\text{Volume}} = \frac{1.292,86 - 190,63}{1.000} = \frac{1.120,23}{1.000} = 1.102 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\delta_{2\text{cimento}} = \frac{P(\text{total}) - P(\text{recip.})}{\text{Volume}} = \frac{1.371,03 - 189,98}{1.000} = \frac{1.181,50}{1.000} = 1.181 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_{\text{médiacimento}} = \frac{\delta_{1\text{cimento}} + \delta_{2\text{cimento}}}{2} = \frac{1.102 + 1.181}{2} = \boxed{1,14 \text{ c/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas unitárias das amostras analisadas é 1,14 g/cm³.

Determinação da Massa Específica do cimento – NBR-6474

Obs: ensaio foi elaborado com frasco volumétrico de Le Chatelier e o líquido usado foi a querosene.

Expressão para cálculo da massa específica do cimento:

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

Onde:

γ = Massa específica (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

1º amostra

$$\gamma_{1\text{cimento}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} = \frac{60}{20,7 - 0,7} = 3,00 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\gamma_{2\text{cimento}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} = \frac{60}{20,5 - 0,7} = 3,04 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{médiacimento}} = \frac{\gamma_{1\text{cimento}} + \gamma_{2\text{cimento}}}{2} = \frac{3,00 + 3,04}{2} = \boxed{3,02 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas específicas das amostras analisadas é 3,02 g/cm³.

Determinação da Finura do cimento – NBR-3432

Expressão para cálculo da finura do cimento:

$$F = \frac{RXC}{M} X 100$$

Onde:

F = índice de finura (%)

R = resíduo retido na peneira 75 µm (nº 200) (g)

M = massa inicial da amostra (g)

C = Fator de correção da peneira = 1,00 (±0,20)

1º amostra

$$F_{1\text{cimento}} = \frac{\text{ResíduoSeco} X 1,00}{\text{MassadaAmostra}} X 100 = \frac{1,50\text{g} X 1,00}{50\text{g}} X 100 = 3,00\%$$

2º amostra

$$F_{2_{cimento}} = \frac{\text{Re s\acute{u}doSeco} \times 1,00}{\text{MassadaAmostra}} \times 100 = \frac{1,52 \text{g} \times 1,00}{50 \text{g}} \times 100 = 3,04\%$$

$$F_{m\acute{e}dia_{cimento}} = \frac{F_{1_{cimento}} + F_{2_{cimento}}}{2} = \frac{3,00 + 3,04}{2} = \boxed{3,02\%}$$

Conclusão: na média das amostras analisadas 3,02% dos grãos ficarão retidos na peneira 75 µm (nº 200).

Determinação da Água de Pasta do cimento – MB-3433

Ensaio elaborado e executado entre os dias 30/03/2005 a 08/03/05.

Na execução do ensaio, observado as condições do ambiente, a mistura água + cimento (água de pasta), analisada no molde durante 5 minutos e sonda de Tetmajer, apresentou índice de consistência de 6,03 %, sendo considerada normal. Obs: Tolerância normal do índice de consistência normal varia de (6 +/- 1).

Determinação da Expansibilidade do cimento - MB-3435

Conclusão: Após 7 dias imerso em água, as agulhas de Lê Chatelier não apresentaram abertura, concluindo-se que e=0.

Determinação dos Tempos de Pega do cimento MB-3434

No ensaio realizado, o início e fim do tempo de pega ocorreram no intervalo compreendido entre as 2:20 hs a 14:00 hs.

Determinação da Dosagem do concreto com brita 0

O método adotado para elaboração dos traços do concreto dos blocos foi o do IPT.

Método Experimental para dosagem de concreto (brita 0)- IPT

Concreto (brita 0)

Cimento: CP II E 32

Adensamento Mecânico

“Slump” = 1 (+/- 0,5) mm

$f_{ck_{28d}} = 2,5$ MPa (bloco)

Massa Unitária: $\delta_{\text{cimento}} = 1,14$ Kg/dm³

Massa específica: $\gamma_{\text{cimento}} = 3,02$ Kg/dm³

Dados da Brita 0:

Massa Unitária: $\delta_{\text{brita0}} = 1,55$ g/cm³ = 1,55 Kg/dm³

Massa específica: $\gamma_{\text{brita0}} = 2,65$ g/cm³ = 2,65 Kg/dm³

Granulometria: brita nº 0, Dmax = 12,7 mm, MF = 6,12

Dados da Areia:

Massa Unitária: $\delta_{\text{areia}} = 1,52 \text{ g/cm}^3 = 1,52 \text{ Kg/dm}^3$

Massa específica: $\gamma_{\text{areia}} = 2,62 \text{ g/cm}^3 = 2,62 \text{ Kg/dm}^3$

Granulometria: Areia Fina, $D_{\text{max}} = 4,80 \text{ mm}$, $MF = 2,84$

1º Etapa: Resistência Média de dosagem

$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \times S_d$ norma – $F_{ck} = 2,5 \text{ mpa}$ / $S_d = 4,0 \text{ mpa}$ – controle rigoroso

$$F_{c28} = 2,5 + 1,65 \times 4,0$$

$$F_{c28} = 9,1 \text{ MPa}$$

2º Etapa: Dimensão Máxima Característica do Agregado Graúdo (brita 0)

brita nº 0

$$D_{\text{max}} = 12,7 \text{ mm},$$

3º Etapa: Estimativa da relação água / cimento

Para o CP II E 32:

$$F_{cj} = \frac{158}{23^x} \rightarrow 9,1 = \frac{158}{23^x} \rightarrow 23^x \times 9,1 = 158 \rightarrow 23^x = \frac{158}{9,1} \rightarrow \boxed{23^x = 17,36}$$

$$\log 23^x = \log 17,36 \rightarrow x \times \log 23 = 17,36 \rightarrow x = \frac{\log 17,36}{\log 23} \rightarrow \frac{1,24}{1,36} \rightarrow \boxed{x = 0,90}$$

0,90

4º Etapa: Estimativa de H: Água/materiais secos

$$D_{\max} = 12,7 \text{ mm} \rightarrow H = 0,12$$

“Slump” de 60 a 80 mm

5º Etapa: Estimativa da mescla : Teor de agregados (brita 0)

$$m = \frac{x}{H} - 1 \rightarrow m = \frac{0,90}{0,12} - 1 \rightarrow m = 6,50$$

6º Etapa: Estimativa de b: (Teor de brita 0)

Admitido $V_{\text{ar}} \text{ aprisionado} = 3\%$

$$b = \frac{\frac{m}{\delta_{\text{brita0}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{brita0}}} + X}{\frac{\gamma_{\text{areia}}}{1-Z} - \frac{1}{\gamma_{\text{brita0}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{areia}}}} \rightarrow b = \frac{\frac{6,50}{1,55} + \frac{1}{2,65} + 0,90}{\frac{2,62}{1-0,03} - \frac{1}{2,65} + \frac{1}{2,62}}$$

$$b = \frac{2,48 + 0,33 + 0,90}{0,62 - 0,37 + 0,38} \rightarrow b = \frac{3,71}{0,63} \rightarrow \boxed{b = 5,80}$$

$$\rightarrow m = a + b$$

$$\rightarrow a = m - b$$



$$\rightarrow a = 6,50 - 5,80$$

$$\rightarrow a = 0,70$$

7º Etapa: Traço Piloto (brita 0)

1	:	0,70	:	5,80	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

8º Etapa: Ajuste do Traço Piloto (brita 0)

Para o ajuste do traço piloto do concreto obtido com pedra britada de dimensão característica de 12,7 mm, em massa, procedeu-se o argamassamento, conforme descrito a seguir:

Calculo do consumo do cimento

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b}{\gamma_b} + X} \quad \rightarrow \quad C = \frac{1000}{\frac{1}{3,02} + \frac{0,70}{2,62} + \frac{5,80}{2,65} + 0,90}$$

$$C = \frac{1000}{0,33 + 0,26 + 2,18 + 0,90} \quad \rightarrow \quad C = \frac{1000}{3,67} \quad \rightarrow \quad C = 272 \text{ kg/m}^3$$

Produzir 32 litros de concreto = 0,032 m³

$$\begin{array}{l} 1\text{m}^3 \quad \text{_____} \quad 272 \text{ kg} \\ 0,032 \quad \text{_____} \quad Cx \end{array} \quad \rightarrow \quad C = \frac{272 \times 0,032}{1} \quad \rightarrow \quad C = 8,70 \text{ kg/m}^3$$

Calculo das quantidades dos materiais

Traço	Cx	-	Quantidade (kg)	
1	X	8,70	-	8,70
0,70	X	8,70	-	6,09
5,80	X	8,70	-	50,46
0,90	X	8,70	-	7,83

Para 0,032 m³ de concreto
volume do traço = p/
TRAÇO PILOTO
(1) Slump / (4) Cps = 10X20 cm

Ajuste do traço padrão = **Bloco = $\delta = 0,75$** → 75%

$$\alpha_{TP} = \frac{1+a}{1+m1} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{1+0,70}{1+6,50} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{1,70}{7,50} \rightarrow \alpha_{TP} = 0,22 \cong 22\%$$

TRAÇO PADRÃO = 8,70 : 6,09 : 50,46 : 7,83
cim areia brita 0 água

9º Etapa: 1º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 70 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m' = (a + \text{acrécimo}) + b$$

$$m = (8,70 + 70) + 50,46 = 126,55 \text{ Kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$1 \text{ _____ } 6,5$$

$$C_{1a} \text{ _____ } 126,55 \rightarrow C_{1a} = \frac{126,55 \times 1}{6,50} \rightarrow C_{1a} = 19,46 \text{ kg}$$

$$x = \frac{a}{c} \rightarrow 0,90 = \frac{a}{19,46} \rightarrow a = 19,46 \times 0,90 \rightarrow a = 17,51$$

L

Cimento	= 19,46 Kg		(÷ 19,46)
Areia	= 76,09 Kg		
Brita 0	= 50,46 Kg		
Água	= 17,51 litros		

1	:	3,91	:	2,59	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\alpha_{TP} = \frac{1+a}{1+m} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{1+3,91}{1+6,50} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{4,91}{7,50} \rightarrow \alpha_{TP} = 0,65 \cong 65\%$$

10ª Etapa: 2ª tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 30 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m'' = (a + \text{acrécimo}) + b$$

$$m = (76,09 + 30) + 50,46 = 156,55 \text{ Kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$1 \text{ _____ } 6,5$$

$$C_{1a} \text{ _____ } 156,55 \rightarrow C_{1a} = \frac{156,55 \times 1}{6,50} \rightarrow C_{1a} = 24,08 \text{ kg}$$

$$x = \frac{a}{c} \rightarrow 0,90 = \frac{a}{24,08} \rightarrow a = 24,08 \times 0,90 \rightarrow a = 21,67 \text{ L}$$

Cimento	= 24,08 Kg	(÷ 24,08)
Areia	= 106,09 Kg	
Brita 0	= 50,46 Kg	
Água	= 21,67 litros	

1	:	4,40	:	2,10	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\alpha_{TP} = \frac{1+a}{1+m} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{1+4,40}{1+6,50} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{5,40}{7,50} \rightarrow \alpha_{TP} = 0,72 \cong 72\%$$

11º Etapa: 3º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 10 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m''' = (a + \text{acrécimo}) + b$$

$$m = (106,09 + 10) + 50,46 = 166,55 \text{ Kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$1 \text{ _____ } 6,5$$

$$C_{1a} \text{ _____ } 166,55 \rightarrow C_{1a} = \frac{166,55 \times 1}{6,50} \rightarrow \boxed{C_{1a} = 25,62 \text{ kg}}$$

$$x = \frac{a}{c} \rightarrow 0,90 = \frac{a}{25,62} \rightarrow a = 25,62 \times 0,90 \rightarrow \boxed{a = 23,05 \text{ L}}$$

Cimento	= 25,62 Kg	
---------	------------	--

$$\begin{aligned}
 \text{Areia} &= 116,09 \text{ Kg} && (\div 22,58) \\
 \text{Brita 0} &= 50,46 \text{ Kg} \\
 \text{Água} &= 23,05 \text{ litros}
 \end{aligned}$$

1	:	4,39	:	2,11	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\alpha_{TP} = \frac{1+a}{1+m} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{1+4,53}{1+6,50} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{5,53}{7,50} \rightarrow \alpha_{TP} = 0,74 \cong 74\%$$

12º Etapa: Traço básico (brita 0)

$$\text{TRAÇO BÁSICO} = \begin{array}{cccc} 1 & : & 4,53 & : & 1,97 & : & 0,90 \\ \text{cim} & & \text{areia} & & \text{brita 0} & & \text{água} \end{array}$$

Cálculo do consumo de cimento – Traço Básico

$$c_{\text{Básico}} = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a_{\text{Básico}}}{\gamma_a} + \frac{b_{\text{Básico}}}{\gamma_b} + x_{\text{Básico}}}$$

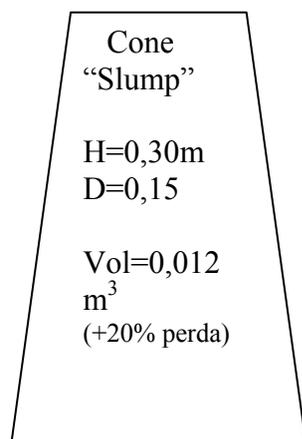
$$c_{\text{Básico}} = \frac{1000}{\frac{1}{3,02} + \frac{4,53}{2,62} + \frac{1,97}{2,65} + 0,90}$$

$$c_{\text{Básico}} = \frac{1000}{0,33 + 1,72 + 0,74 + 0,90}$$

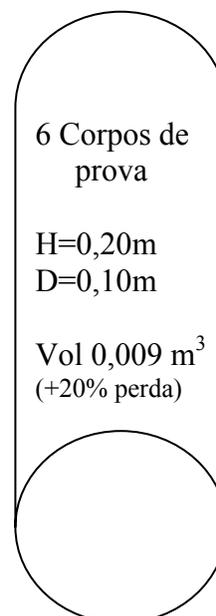
$$c_{\text{Básico}} = \frac{1000}{3,69}$$

$$c_{\text{Básico}} = 271 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Cálculo do volume de concreto para elaborar um ensaio de consistência (slump) do concreto (brita 0) e moldar 6 corpos de prova.



Cálculo do Slump.



$$SL = 1 \times \frac{\pi d^2}{4} \times h \rightarrow SL = 1 \times \frac{3,14 \times 0,15^2 \times 0,30}{4} \rightarrow SL = 0,0053 \text{ m}^3$$

Cálculo do Corpo de prova.

$$CP = 6 \times \frac{\pi d^2}{4} \times h \rightarrow CP = 6 \times \frac{3,14 \times 0,10^2 \times 0,20}{4} \rightarrow CP = 0,0094 \text{ m}^3$$

Cálculo do volume de concreto para ensaio.

$$V_c = (SL + CP) \times 1,3 \rightarrow V_c = (0,0053 + 0,0094) \times 1,3 \rightarrow V_c = 0,02 \text{ m}^3$$

Volume de concreto para os ensaios = 0,020 m³

$$\frac{1 \text{ C}}{0,020 \text{ C}_{TB}} \rightarrow \frac{1 \text{ 271}}{0,020 \text{ C}_{TB}} \rightarrow C_{TB} = 5,40 \text{ kg}$$

Consumo de cimento para os ensaios do traço Básico será:

$$C_{TB} = V_c \times C_{básico} \quad \rightarrow \quad C_{TB} = 0,020 \times 271 \quad \rightarrow \quad C_{TB} = 5,40 \text{ Kg de cimento}$$

Para o ensaio do concreto, seguindo o traço Básico usaremos:

14,4 Kg de areia

21,6 Kg de brita 0

4,5 Kg de água

14º Etapa: Traço auxiliar inferior (TAI) (brita 0) – (m – 1)

$$\alpha = \frac{1 + a_{inferior}}{1 + m_{inferior}}$$

$$m_{inferior} = (m_{basico} - 1)$$

$$m_{inferior} = a_{inferior} + b_{inferior}$$

$$\frac{x_{basico}}{1 + m_{basico}} = \frac{x_{inferior}}{1 + m_{inferior}}$$

Onde:

α = porcentagem do argamassamento (%)

$a_{inferior}$ = Massa da areia do traço auxiliar inferior – TAI (g)

$a_{básico}$ = Massa da areia do traço básico (g)

$m_{básico}$ = Massa da mescla de areia e brita do traço básico (g)

$m_{inferior}$ = Massa da mescla de areia e brita do traço auxiliar inferior – TAI (g)

$b_{inferior}$ = Massa de brita do traço auxiliar inferior – TAI (g)

$x_{básico}$ = Fator água x cimento do traço básico

$$x_{\text{inferior}} = \text{Fator água x cimento do traço auxiliar inferior} - \text{TAI}$$

Calculo da areia:

$$\frac{1 + a_{\text{basico}}}{1 + m} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{1 + (6,50 - 1)} \rightarrow \frac{1 + 4,53}{1 + 6,50} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{m} \rightarrow \frac{5,53}{7,50} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{6,50}$$

$$a_{\text{inferior}} = \frac{6,50 \times 5,53}{7,50} - 1 \rightarrow \boxed{a_{\text{inferior}} = 3,79}$$

Fator da relação água x cimento (não muda)

$$\frac{x_{\text{basico}}}{1 + m} = \frac{x_{\text{inferior}}}{1 + (6,50 - 1)} \rightarrow \frac{0,90}{1 + 6,50} = \frac{x_{\text{inferior}}}{6,50} \rightarrow x_{\text{inferior}} = \frac{6,50 \times 0,90}{7,50} \rightarrow \boxed{x_{\text{inferior}} = 0,80}$$

Traço auxiliar inferior (TAI) (brita 0)

$$\boxed{1 : 3,79 : 1,74 : 0,80}$$

cim areia brita 0 água

15º Etapa: Traço auxiliar superior (TAS) (brita 0) – (m + 1)

$$\alpha = \frac{1 + a_{\text{superior}}}{1 + m_{\text{superior}}}$$

$$m_{\text{superior}} = (m_{\text{básico}} + 1)$$

$$m_{\text{superior}} = a_{\text{superior}} + b_{\text{superior}}$$

$$\frac{x_{\text{básico}}}{1 + m_{\text{básico}}} = \frac{x_{\text{superior}}}{1 + m_{\text{superior}}}$$

Onde:

α = porcentagem do argamassamento (%)

a_{superior} = Massa da areia do traço auxiliar superior – TAS (g)

$a_{\text{básico}}$ = Massa da areia do traço básico (g)

$m_{\text{básico}}$ = Massa da mescla de areia e brita do traço básico (g)

m_{superior} = Massa da mescla de areia e brita do traço auxiliar superior – TAS (g)

b_{superior} = Massa de brita do traço auxiliar superior – TAS (g)

$x_{\text{básico}}$ = Fator água x cimento do traço básico

x_{superior} = Fator água x cimento do traço auxiliar superior - TAS

Calculo da areia:

$$\frac{1 + a_{\text{basico}}}{1 + m} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{1 + (6,50 + 1)} \rightarrow \frac{1 + 4,53}{1 + 6,50} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{8,50} \rightarrow \frac{5,53}{7,50} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{8,50}$$

$$a_{\text{inferior}} = \frac{8,50 \times 5,53}{7,50} - 1 \rightarrow \boxed{a_{\text{inferior}} = 5,26}$$

Fator da relação água x cimento (não muda)

$$\frac{x_{\text{basico}}}{1 + m} = \frac{x_{\text{inferior}}}{1 + (6,50 + 1)} \rightarrow \frac{0,90}{1 + 6,50} = \frac{x_{\text{inferior}}}{8,50} \rightarrow x_{\text{inferior}} = \frac{8,50 \times 0,90}{7,50} \rightarrow \boxed{x_{\text{inferior}} = 1,00}$$

Traço auxiliar superior (TAS) (brita 0)

$$\boxed{1 : 5,26 : 1,74 : 1,00}$$

cim areia brita 0 água

Agregados Recicladados

Caracterização da areia

Origem da areia

Classificação no pedido – Areia média para concreto

Quantidade – 1 metro cúbico

Centro de Transbordo e Triagem – Estação de Reciclagem de Resíduos de construção e demolição

Local: São Paulo – Bairro do Jaçanã - Capital

Determinação da Massa Unitária da areia – NBR-7251

Expressão para cálculo da massa unitária da areia:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

Onde:

δ = Massa unitária (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

Dados do Recipiente:

Massa: 4.150 g

Largura: 25,1 cm

Comprimento: 25,2 cm

Altura: 25,4 cm

Volume: 15,5 cm³

1º amostra

$$\delta_{1\text{areia}} = \frac{P(\text{total}) - P(\text{recipiente})}{\text{Volume}} \rightarrow \delta_{1\text{areia}} = \frac{24.680 - 4.150}{15.500} = 1,325 \text{ kg/dm}^3$$

2º amostra

$$\delta_{2\text{areia}} = \frac{P(\text{total}) - P(\text{recipiente})}{\text{Volume}} \rightarrow \delta_{2\text{areia}} = \frac{24.765 - 4.150}{15.500} = 1,330 \text{ kg/dm}^3$$

$$\delta_{\text{médiaareia}} = \frac{\delta_{1\text{areia}} + \delta_{2\text{areia}}}{2} \rightarrow \delta_{\text{médiaareia}} = \frac{1,325 + 1,330}{2} = \boxed{1,327 \text{ kg/dm}^3}$$

Conclusão: a média das massas unitárias das amostras analisadas é 1,32 g/dm³.

3.3.1.3 - Determinação da Massa Específica da areia - NBR-9776

Obs: ensaio foi elaborado com o frasco volumétrico de Chapman e o líquido usado foi a água.

Expressão para cálculo da massa específica da areia:

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

Onde:

γ = Massa específica (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

1º amostra

$$\gamma_{1\text{areia}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} \rightarrow \gamma_{1\text{areia}} = \frac{500}{405 - 200} \rightarrow 2,43 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\gamma_{2\text{areia}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} \rightarrow \gamma_{2\text{areia}} = \frac{500}{408 - 200} \rightarrow 2,40 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{médiaareia}} = \frac{\gamma_{1\text{areia}} + \gamma_{2\text{areia}}}{2} \rightarrow \gamma_{\text{médiaareia}} = \frac{2,43 + 2,40}{2} \rightarrow \boxed{2,42 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas específicas das amostras analisadas é 2,42 g/cm³.

Determinação da Granulometria da areia - NBR-7217

- Diâmetro máximo;
- Módulo de finura;

Ensaio elaborado no dia 24/05/2005.

Peneiras	Massa Retida	Massa Retida Acumulado	% Retido acumulado	Obs
4,80	0,00	0,00	0,0	Dmax
2,40	136,00	17,39	17,0	
1,20	92,00	12,29	29,50	
0,60	142,00	26,33	56,0	
0,30	153,00	28,81	84,50	
0,15	121,00	12,67	97,00	

Resíduo	78,00	2,48	100,0	
TOTAL	722,00			

Massa da amostra: 722,00 g

Conclusões:

- **Dmax:** dimensão máxima na qual fica retida e acumulada a porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5 %.

D Max = 4,80mm

- **MF:** modulo de finura é a somatória dos valores retidos acumulados das peneiras da série normal, portanto descontamos a peneira 6,35 e dividimos o resultado por 100.

MF = 2,63

Fina = 2,2 a 2,6

Média = 2,6 a 2,9

Grossa = 2,9 a 3,2

Conclui-se que a mostra ensaiada é classificada como **Areia Média**.

Caracterização da Brita 0

Origem da brita 0

Classificação no pedido: brita 0

Quantidade ½ metro cúbico

Centro de Transbordo e Triagem – Estação de Reciclagem de Resíduos de construção e demolição

Local: São Paulo – Bairro do Jaçanã - Capital

Determinação da Massa Unitária da brita 0 - NBR-7851

Expressão para cálculo da massa unitária da brita 0:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

Onde:

δ = Massa unitária (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

Dados do Recipiente:

Massa: 4.150 g

Largura: 25,1 cm

Comprimento: 25,2 cm

Altura: 24,5 cm

Volume: 15.500 cm³

1º amostra

$$\delta_{1_{brita}} = \frac{P(total) - P(recipiente)}{Volume} \rightarrow \delta_{1_{brita}} = \frac{19.880 - 4.150}{15.500} \rightarrow 1,015 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\delta_{1_{brita}} = \frac{P(total) - P(recipiente)}{Volume} \rightarrow \delta_{1_{brita}} = \frac{20.854 - 4.150}{15.500} \rightarrow 1,008 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_{médiaareia} = \frac{\delta_{1_{areia}} + \delta_{2_{areia}}}{2} \rightarrow \delta_{médiaareia} = \frac{1,015 + 1,008}{2} \rightarrow \boxed{1,012 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas unitárias das amostras analisadas é 1,01 g/cm³.

Determinação da Massa Específica da brita 0 - NBR-9937

Método da Balança Hidrostática

Expressão para cálculo da massa específica seca da brita 0:

$$\delta_{\text{seca}} = \frac{M_{\text{seca}}}{V}$$

Onde:

δ seca = Massa unitária seca (g/cm³)

M seca = Massa seca ao ar (g)

V = Volume (cm³)

Expressão para cálculo da massa específica saturada superfície seca da brita 0:

$$\gamma_{\text{sss}} = \frac{M_{\text{úmida}}}{V}$$

Onde:

γ sss = Massa específica saturada superfície seca (g/cm³)

M úmida = Massa úmida (g)

V = Volume (cm³)

Cálculo do volume:

$$V = M_{\text{sss}} - M_{\text{imersa}}$$

Onde:

V = Volume (cm³)

M sss = Massa saturada superfície seca (g)

M imersa = Massa saturada imersa (g)

Cálculo da absorção:

$$A = \frac{M_{sss} - M_{seca}}{M_{seca}}$$

Onde:

A = Absorção (%)

M sss = Massa saturada superfície seca (g)

M seca = Massa seca imersa (g)

1º amostra

$$A_R = \frac{M_{sss1} - M_{seca1}}{M_{seca1}} \times 100 \quad \rightarrow \quad A_R = \frac{956,38 - 885,82}{885,82} \times 100$$

$$A_R = \frac{70,56}{885,82} \times 100 \quad \rightarrow \quad \boxed{A_R = 7,96 \%}$$

$$V_{1brita0} = M_{sss1} - M_{imersa1} \quad \rightarrow \quad V_{1brita0} = 956,38 - 522,70 = 433,68 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{1seca} = \frac{M_{seca1}}{V_1} \quad \rightarrow \quad \gamma_{1seca} = \frac{885,82}{433,68} = 2,04 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{1sss} = \frac{M_{sss1}}{V_1} \quad \rightarrow \quad \gamma_{1sss} = \frac{956,38}{433,68} = 2,20 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$A_2 = \frac{M_{sss2} - M_{sec a_2}}{M_{sec a_2}} \times 100 \quad \rightarrow \quad A_2 = \frac{957,02 - 884,17}{884,17} \times 100$$

$$A_2 = \frac{72,85}{884,17} \times 100 \quad \rightarrow \quad \boxed{A_2 = 8,23 \%}$$

$$V_{2brita0} = M_{sss2} - M_{imersa2} \quad \rightarrow \quad V_{2brita0} = 957,02 - 521,80 = 435,22 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{2sec a} = \frac{M_{sec a_2}}{V_2} \quad \rightarrow \quad \gamma_{2sec a} = \frac{884,17}{435,22} = 2,03 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{2sss} = \frac{M_{sss2}}{V_2} \quad \rightarrow \quad \gamma_{2sss} = \frac{957,02}{435,22} = 2,19 \text{ g/cm}^3$$

$$A_{m\u00e9dia} = \frac{A_1 + A_2}{2} \quad \rightarrow \quad A_{m\u00e9dia} = \frac{7,96 + 8,23}{2} = \boxed{8,09 \%}$$

$$\gamma_{m\u00e9diabrita0sec a} = \frac{\gamma_{1sec a} + \gamma_{2sec a}}{2} \quad \rightarrow \quad \gamma_{m\u00e9diabrita0sec a} = \frac{2,04 + 2,03}{2} = \boxed{2,04 \text{ g/cm}^3}$$

$$\gamma_{m\u00e9diabrita0sss} = \frac{\gamma_{1sss} + \gamma_{2sss}}{2} \quad \rightarrow \quad \gamma_{m\u00e9diabrita0sss} = \frac{2,20 + 2,19}{2} = \boxed{2,20 \text{ g/cm}^3}$$

Conclus\u00e3o: a m\u00e9dia das massas espec\u00edficas das amostras analisadas \u00e9 2,04 g/cm³ para as massas secas ao ar e 2,20 g/cm³ para as massas saturadas com a superf\u00edcie seca e a absor\u00e7\u00e3o m\u00e9dia \u00e9 8,09%.

Determina\u00e7\u00e3o da Granulometria da brita 0 - NBR-7217

- Di\u00e2metro m\u00e1ximo;
- M\u00f3dulo de finura;

Ensaio elaborado no dia 24/05/2005.

Peneiras	Massa Retida	Massa Retida Acumulado	% Retido acumulado	Obs
19,0	0,00	0,00	0,00	
12,7	110,00	3,10	3,0	Dmax
9,5	390,00	11,02	14,0	
6,35	1.814,00	62,29	76,0	
4,8	1.224,00	34,59	100,0	
TOTAL	3.538,00			

Massa da amostra: 3.538,00 g

Conclusões:

- **Dmax:** dimensão máxima na qual fica retida e acumulada a porcentagem igual ou imediatamente inferior a 5 %.

Dmax = 12,7mm

- **MF:** modulo de finura é a somatória dos valores retidos acumulados das peneiras da série normal, portanto descontamos a peneira 6,35 e dividimos o resultado por 100.

MF = 6,14

Caracterização do Agregante

Caracterização do Cimento Portland

CP II E 32 – NBR 11.578 – Cimento Portland

Cor: Cinza

Embalagem: Saco de 50 Kg

Origem do Cimento

Marca: Liz Soeicon S/A

Data de fabricação: 03/2005

Data de validade: 05/2005

Determinação da Massa Unitária do cimento - EN 459-2 DIN 1060

Expressão para cálculo da massa unitária do cimento:

$$\delta = \frac{M}{V}$$

Onde:

δ = Massa unitária (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

1º amostra

$$\delta_{1_{\text{cimento}}} = \frac{\text{Massa}(\text{total}) - \text{Massa}(\text{recip.})}{\text{Volume}} = \frac{1.292,86 - 190,63}{1.000} = \frac{1.120,23}{1.000} = 1.102 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\delta_{2_{\text{cimento}}} = \frac{P(\text{total}) - P(\text{recip.})}{\text{Volume}} = \frac{1.371,03 - 189,98}{1.000} = \frac{1.181,50}{1.000} = 1.181 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_{\text{média}_{\text{cimento}}} = \frac{\delta_{1_{\text{cimento}}} + \delta_{2_{\text{cimento}}}}{2} = \frac{1.102 + 1.181}{2} = \boxed{1,14 \text{ g/cm}^3}$$

Conclusão: a média das massas unitárias das amostras analisadas é 1,14 g/cm³.

Determinação da Massa Específica do cimento – NBR-6474

Ensaio elaborado no dia 30/03/2005.

Obs: ensaio foi elaborado com frasco volumétrico de Le Chatelier e o líquido usado foi a querosene.

Expressão para cálculo da massa específica do cimento:

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

Onde:

γ = Massa específica (g/cm³)

M = Massa (g)

V = Volume (cm³)

1º amostra

$$\gamma_{1_{\text{cimento}}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} = \frac{60}{20,7 - 0,7} = 3,00 \text{ g/cm}^3$$

2º amostra

$$\gamma_{2_{\text{cimento}}} = \frac{\text{Massa}}{V_f - V_i} = \frac{60}{20,5 - 0,7} = 3,04 \text{ g/cm}^3$$

$$\gamma_{\text{média}_{\text{cimento}}} = \frac{\gamma_{1_{\text{cimento}}} + \gamma_{2_{\text{cimento}}}}{2} = \frac{3,00 + 3,04}{2} = 3,02 \text{ g/cm}^3$$

Conclusão: a média das massas específicas das amostras analisadas é 3,02 g/cm³.

Determinação da Finura do cimento – NBR-3432

Expressão para cálculo da finura do cimento:

$$F = \frac{RXC}{M} X 100$$

Onde:

F = índice de finura (%)

R = resíduo retido na peneira 75 μm (n° 200) (g)

M = massa inicial da amostra (g)

C = Fator de correção da peneira = 1,00 ($\pm 0,20$)

1° amostra

$$F_{1_{\text{cimento}}} = \frac{\text{Resíduo Seco} X 1,00}{\text{Massa da Amostra}} X 100 = \frac{1,50 \text{g} X 1,00}{50 \text{g}} X 100 = 3,00\%$$

2° amostra

$$F_{2_{\text{cimento}}} = \frac{\text{Resíduo Seco} X 1,00}{\text{Massa da Amostra}} X 100 = \frac{1,52 \text{g} X 1,00}{50 \text{g}} X 100 = 3,04\%$$

$$F_{\text{média cimento}} = \frac{F_{1_{\text{cimento}}} + F_{2_{\text{cimento}}}}{2} = \frac{3,00 + 3,04}{2} = \boxed{3,02\%}$$

Conclusão: na média das amostras analisadas 3,02% dos grãos ficarão retidos na peneira 75 μm (n° 200).

Determinação da Água de Pasta do cimento – MB-3433

Na execução do ensaio, observado as condições do ambiente, a mistura água + cimento (água de pasta), analisada no molde durante 5 minutos e sonda de Tetmajer, apresentou índice de consistência de 6,03 %, sendo considerada normal. Obs: Tolerância normal do índice de consistência normal varia de (6 +/- 1).

Determinação da Expansibilidade do cimento - MB-3435

Conclusão: Após 7 dias imerso em água, as agulhas de Lê Chatelier não apresentaram abertura, concluindo-se que $e=0$.

Determinação dos Tempos de Pega do cimento MB-3434

No ensaio realizado, o início e fim do tempo de pega ocorreram no intervalo compreendido entre as 2:20 hs a 14:00 hs.

Determinação da Dosagem do concreto com brita 0

O método adotado para elaboração dos traços do concreto dos blocos foi o do IPT.

Método Experimental para dosagem de concreto (brita 0)- IPT

Concreto (brita 0)

Cimento: CP II E 32

Adensamento Mecânico

“Slump” = 1 (+/- 0,5) mm

$F_{ck_{28d}} = 2,5$ MPa (bloco)

Massa Unitária: $\delta_{\text{cimento}} = 1,14$ Kg/dm³

Massa específica: $\gamma_{\text{cimento}} = 3,02$ Kg/dm³

Dados da Brita 0:

Massa Unitária: $\delta_{\text{brita0}} = 1,01 \text{ g/cm}^3 = 1,01 \text{ Kg/dm}^3$

Massa específica: $\gamma_{\text{brita0}} = 2,04 \text{ g/cm}^3 = 2,04 \text{ Kg/dm}^3$

Granulometria: brita nº 0, $D_{\text{max}} = 12,7 \text{ mm}$, $\text{MF} = 6,14$

Dados da Areia:

Massa Unitária: $\delta_{\text{areia}} = 1,32 \text{ g/cm}^3 = 1,32 \text{ Kg/dm}^3$

Massa específica: $\gamma_{\text{areia}} = 2,42 \text{ g/cm}^3 = 2,42 \text{ Kg/dm}^3$

Granulometria: Areia Fina, $D_{\text{max}} = 4,80 \text{ mm}$, $\text{MF} = 2,63$

1º Etapa: Resistência Média de dosagem

$F_{cj} = F_{ck} + 1,65 \times S_d$ norma – $F_{ck} = 2,5 \text{ mpa}$ / $S_d = 4,0 \text{ mpa}$ – controle rigoroso

$F_{c28} = 2,5 + 1,65 \times 4,0$

$F_{c28} = 9,1 \text{ MPa}$

2º Etapa: Dimensão Máxima Característica do Agregado Graúdo (brita 0)

brita nº 0

$D_{\text{max}} = 12,7 \text{ mm}$,

3º Etapa: Estimativa da relação água / cimento

Para o CP II E 32:

$$F_{CJ} = \frac{158}{23^x} \rightarrow 9,1 = \frac{158}{23^x} \rightarrow 23^x \times 9,1 = 158 \rightarrow 23^x = \frac{158}{9,1} \rightarrow \boxed{23^x = 17,36}$$

$$\log 23^x = \log 17,36 \rightarrow x \times \log 23 = 17,36 \rightarrow x = \frac{\log 17,36}{\log 23} \rightarrow \frac{1,24}{1,36} \rightarrow \boxed{x = 0,90}$$

4º Etapa: Estimativa de H: Água/materiais secos

$$D_{\max} = 12,7 \text{ mm} \rightarrow H = 0,12$$

“Slump” de 60 a 80 mm

5º Etapa: Estimativa da mescla : Teor de agregados (brita 0)

$$m = \frac{x}{H} - 1 \rightarrow m = \frac{0,90}{0,12} - 1 \rightarrow \boxed{m = 6,50}$$

6º Etapa: Estimativa de b: (Teor de brita 0)

Admitido $V_{\text{ar aprisionado}} = 3\%$

$$b = \frac{\frac{m}{\gamma_{\text{areia}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{cimento}}} + X}{\frac{1-Z}{\delta_{\text{brita0}}} - \frac{1}{\gamma_{\text{brita0}}} + \frac{1}{\gamma_{\text{areia}}}} \rightarrow b = \frac{\frac{6,50}{2,42} + \frac{1}{3,02} + 0,90}{\frac{1-0,03}{1,01} - \frac{1}{2,04} + \frac{1}{2,42}}$$

$$b = \frac{2,68 + 0,33 + 0,90}{0,96 - 0,49 + 0,41} \rightarrow b = \frac{3,91}{0,88} \rightarrow \boxed{b = 4,45}$$

$$\rightarrow m = a + b$$

$$\rightarrow a = m - b$$

$$\rightarrow a = 6,50 - 4,45$$

$$\rightarrow$$

$$a = 2,05$$

7º Etapa: Traço Piloto (brita 0)

1	:	2,05	:	4,95	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

8º Etapa: Ajuste do Traço Piloto (brita 0)

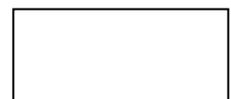
Para o ajuste do traço piloto do concreto obtido com pedra britada de dimensão característica de 12,7 mm, em massa, procedeu-se o argamassamento, conforme descrito a seguir:

Calculo do consumo do cimento

$$C = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a}{\gamma_a} + \frac{b}{\gamma_b} + X} \quad \rightarrow \quad C = \frac{1000}{\frac{1}{3,02} + \frac{2,05}{2,42} + \frac{4,45}{2,04} + 0,90}$$

$$C = \frac{1000}{0,33 + 0,84 + 2,18 + 0,90} \quad \rightarrow \quad C = \frac{1000}{4,25} \quad \rightarrow \quad C = 235 \text{ kg} / \text{m}^3$$

Produzir 32 litros de concreto = 0,032 m³



$$1\text{m}^3 \text{ _____ } 235 \text{ kg} \rightarrow C = \frac{2352 \times 0,032}{1} \rightarrow C = 7,52$$

$$\text{kg/m}^3$$

$$0,032 \text{ _____ } Cx$$

Calculo das quantidades dos materiais

Traço	Cx	-	Quantidade (kg)	
1	X	7,52	-	7,52
0,70	X	7,52	-	15,41
5,80	X	7,52	-	37,22
0,90	X	7,52	-	6,76

Para 0,032 m3 de concreto
volume do traço = p/
TRAÇO PILOTO
(1) Slump / (4) Cps = 10X20 cm

Ajuste do traço padrão = **Bloco = $\delta = 0,75$** \rightarrow 75%

$$\alpha_{TP} = \frac{1+a}{1+m} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{1+2,05}{1+6,50} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{3,05}{7,50} \rightarrow \alpha_{TP} = 0,40 \cong 40\%$$

TRAÇO PADRÃO = 7,52 : 15,41 : 37,22 : 6,76
cim areia brita 0 água

9º Etapa: 1º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 20 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m' = (a + \text{acrécimo}) + b \rightarrow m' = (15,41 + 20) + 37,22 \rightarrow 72,63 \text{ kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$1 \text{ _____ } 6,5$$

$$C_{1^a} \text{ ----- } 72,63 \quad \rightarrow \quad C_{1^a} = \frac{72,63 \times 1}{6,50} \quad \rightarrow \quad \boxed{C_{1^a} = 11,17 \text{ kg}}$$

$$x = \frac{a}{c} \quad \rightarrow \quad 0,90 = \frac{a}{11,17} \quad \rightarrow \quad a = 11,17 \times 0,90 \quad \rightarrow \quad \boxed{a = 10,05 \text{ L}}$$

Cimento	= 11,17 Kg	
Areia	= 35,41 Kg	(÷ 11,17)
Brita 0	= 37,22 Kg	
Água	= 10,05 litros	

$$\alpha_{TP} = \frac{1+a}{1+m} \quad \rightarrow \quad \alpha_{TP} = \frac{1+3,17}{1+6,50} \quad \rightarrow \quad \alpha_{TP} = \frac{4,17}{7,50} \quad \rightarrow \quad \boxed{\alpha_{TP} = 0,55 \cong 55\%}$$

1	:	3,17	:	3,33	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

10º Etapa: 2º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 20 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m'' = (a + \text{acrécimo}) + b \quad \rightarrow \quad m'' = (35,41 + 20) + 37,22 \quad \rightarrow \quad 92,63 \text{ kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$1 \text{ ----- } 6,5$$

$$C_{1^a} \text{ ----- } 92,63 \quad \rightarrow \quad C_{1^a} = \frac{92,63 \times 1}{6,50} \quad \rightarrow \quad \boxed{C_{1^a} = 14,25 \text{ kg}}$$

$$x = \frac{a}{c} \rightarrow 0,90 = \frac{a}{14,25} \rightarrow a = 14,25 \times 0,90 \rightarrow \boxed{a = 12,82}$$

L

Cimento	= 14,25 Kg		(÷ 14,25)
Areia	= 55,41 Kg		
Brita 0	= 37,22 Kg		
Água	= 12,82 litros		

1	:	3,89	:	2,61	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\alpha_{TP} = \frac{1+a}{1+m1} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{1+3,89}{1+6,50} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{4,89}{7,50} \rightarrow \alpha_{TP} = 0,65 \cong 65\%$$

11º Etapa: 3º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 20 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m''' = (a + \text{acréscimo}) + b \rightarrow m''' = (55,41 + 20) + 37,22 \rightarrow 112,63 \text{ kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$1 \text{ _____ } 6,5$$

$$C_{1a} \text{ _____ } 112,63 \rightarrow C_{1a} = \frac{112,63 \times 1}{6,50} \rightarrow \boxed{C_{1a} = 17,32 \text{ kg}}$$

$$x = \frac{a}{c} \rightarrow 0,90 = \frac{a}{17,32} \rightarrow a = 17,32 \times 0,90 \rightarrow \boxed{a = 15,58 \text{ L}}$$

Cimento	= 17,32 Kg		(÷ 17,32)
Areia	= 75,41 Kg		
Brita 0	= 37,22 Kg		
Água	= 15,58 litros		

1	:	4,35	:	2,14	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\alpha_{TP} = \frac{1+a}{1+m} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{1+4,35}{1+6,50} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{5,35}{7,50} \rightarrow \alpha_{TP} = 0,71 \cong 71\%$$

12º Etapa: 4º tentativa para correção da mistura

Acréscimo de Areia: 10 Kg

Visando manter constante a relação $m = 6,5$ constante ocorre:

$$m'''' = (a + \text{acréscimo}) + b \rightarrow m'''' = (75,41 + 10) + 37,22 \rightarrow 122,63 \text{ kg}$$

Para o traço Piloto teremos:

$$1 \text{ _____ } 6,5$$

$$C_{1^a} \text{ _____ } 122,63 \rightarrow C_{1^a} = \frac{122,63 \times 1}{6,50} \rightarrow \boxed{C_{1^a} = 18,86 \text{ kg}}$$

$$x = \frac{a}{c} \rightarrow 0,90 = \frac{a}{18,86} \rightarrow a = 18,86 \times 0,90 \rightarrow \boxed{a = 16,97 \text{ L}}$$

Cimento	= 18,86 Kg		(÷ 18,86)
Areia	= 85,41 Kg		
Brita 0	= 37,22 Kg		

Água = 16,97 litros

1	:	4,52	:	1,97	:	0,90
cim		areia		brita 0		água

$$\alpha_{TP} = \frac{1+a}{1+m} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{1+4,52}{1+6,50} \rightarrow \alpha_{TP} = \frac{5,52}{7,50} \rightarrow \alpha_{TP} = 0,736 \cong 74\%$$

13ª Etapa: Traço básico (brita 0)

TRAÇO BÁSICO	=	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>:</td> <td>4,52</td> <td>:</td> <td>1,97</td> <td>:</td> <td>0,90</td> </tr> <tr> <td>cim</td> <td></td> <td>areia</td> <td></td> <td>brita 0</td> <td></td> <td>água</td> </tr> </table>	1	:	4,52	:	1,97	:	0,90	cim		areia		brita 0		água
1	:	4,52	:	1,97	:	0,90										
cim		areia		brita 0		água										

Cálculo do consumo de cimento – Traço Básico

$$C_{Básico} = \frac{1000}{\frac{1}{\gamma_c} + \frac{a_{Básico}}{\gamma_a} + \frac{b_{Básico}}{\gamma_b} + x_{Básico}}$$

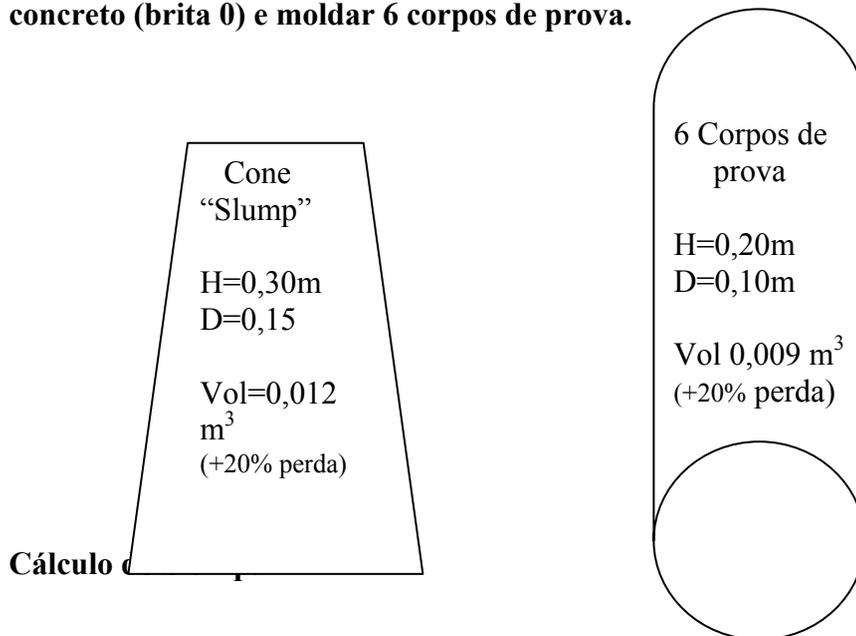
$$C_{Básico} = \frac{1000}{\frac{1}{3,02} + \frac{4,52}{2,42} + \frac{1,97}{2,04} + 0,90}$$

$$C_{Básico} = \frac{1000}{0,33 + 1,87 + 0,96 + 0,90}$$

$$C_{\text{Básico}} = \frac{1000}{4,06}$$

$$C_{\text{Básico}} = 246 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

Cálculo do volume de concreto para elaborar um ensaio de consistência (slump) do concreto (brita 0) e moldar 6 corpos de prova.



$$SL = \frac{1 \times \pi \times d^2 \times Xh}{4} \rightarrow SL = \frac{3,14 \times 0,15^2 \times 0,30}{4} \rightarrow SL = 0,0053 \text{ m}^3$$

Cálculo do Corpo de prova.

$$CP = \frac{6 \times \pi \times d^2 \times Xh}{4} \rightarrow CP = \frac{6 \times 3,14 \times 0,10^2 \times 0,20}{4} \rightarrow CP = 0,0094 \text{ m}^3$$

Cálculo do volume de concreto para ensaio.

$$Vc = (SL + CP) \times 1,3 \rightarrow Vc = (0,0053 + 0,0094) \times 1,3 \rightarrow Vc = 0,02 \text{ m}^3$$

Volume de concreto para os ensaios = 0,020 m³

$$\frac{1}{0,020} C \rightarrow \frac{1}{0,020} 246 \rightarrow C_{\text{TB}} = 4,90 \text{ kg}$$

Consumo de cimento para os ensaios do traço Básico será:

$$C_{TB} = V_c \times C_{básico} \quad \rightarrow \quad C_{TB} = 0,020 \times 246 \quad \rightarrow \quad \boxed{C_{TB} = 4,90 \text{ Kg de cimento}}$$

Para o ensaio do concreto, seguindo o traço Básico usaremos:

14,4 Kg de areia

21,6 Kg de brita 0

4,5 Kg de água

14º Etapa: Traço auxiliar inferior (TAI) (brita 0) – (m – 1)

$$\alpha = \frac{1 + a_{inferior}}{1 + m_{inferior}}$$

$$m_{inferior} = (m_{básico} - 1)$$

$$m_{inferior} = a_{inferior} + b_{inferior}$$

$$\frac{x_{básico}}{1 + m_{básico}} = \frac{x_{inferior}}{1 + m_{inferior}}$$

Onde:

α = porcentagem do argamassamento (%)

$a_{inferior}$ = Massa da areia do traço auxiliar inferior – TAI (g)

$a_{básico}$ = Massa da areia do traço básico (g)

$m_{básico}$ = Massa da mescla de areia e brita do traço básico (g)

$m_{inferior}$ = Massa da mescla de areia e brita do traço auxiliar inferior – TAI (g)

$b_{inferior}$ = Massa de brita do traço auxiliar inferior – TAI (g)

$x_{básico}$ = Fator água x cimento do traço básico

$x_{inferior} = \text{Fator água x cimento do traço auxiliar inferior} - \text{TAI}$

Calculo da areia:

$$\frac{1 + a_{basico}}{1 + m} = \frac{1 + a_{inferior}}{1 + (6,50 - 1)} \rightarrow \frac{1 + 4,52}{1 + 6,50} = \frac{1 + a_{inferior}}{m} \rightarrow \frac{5,52}{7,50} = \frac{1 + a_{inferior}}{6,50}$$

$$a_{inferior} = \frac{6,50 \times 5,52}{7,50} - 1 \rightarrow \boxed{a_{inferior} = 3,78}$$

Fator da relação água x cimento (não muda)

$$\frac{x_{basico}}{1 + m} = \frac{x_{inferior}}{1 + (6,50 - 1)} \rightarrow \frac{0,90}{1 + 6,50} = \frac{x_{inferior}}{6,50} \rightarrow x_{inferior} = \frac{6,50 \times 0,90}{7,50} \rightarrow \boxed{x_{inferior} = 0,80}$$

Traço auxiliar inferior (TAI) (brita 0)

$$\boxed{1 : 3,78 : 1,97 : 0,80}$$

cim areia brita 0 água

15° Etapa: Traço auxiliar superior (TAS) (brita 0) – (m + 1)

$$\alpha = \frac{1 + a_{superior}}{1 + m_{superior}}$$

$$m_{superior} = (m_{basico} + 1)$$

$$m_{superior} = a_{superior} + b_{superior}$$

$$\frac{x_{basico}}{m_{basico}} = \frac{x_{superior}}{m_{superior}}$$

$$1 + m_{\text{básico}} = 1 + m_{\text{superior}}$$

Onde:

α = porcentagem do argamassamento (%)

a_{superior} = Massa da areia do traço auxiliar superior – TAS (g)

$a_{\text{básico}}$ = Massa da areia do traço básico (g)

$m_{\text{básico}}$ = Massa da mescla de areia e brita do traço básico (g)

m_{superior} = Massa da mescla de areia e brita do traço auxiliar superior – TAS (g)

b_{superior} = Massa de brita do traço auxiliar superior – TAS (g)

$x_{\text{básico}}$ = Fator água x cimento do traço básico

x_{superior} = Fator água x cimento do traço auxiliar superior - TAS

Calculo da areia:

$$\frac{1 + a_{\text{basico}}}{1 + m} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{1 + (6,50 + 1)} \rightarrow \frac{1 + 4,52}{1 + 6,50} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{8,50} \rightarrow \frac{5,52}{7,50} = \frac{1 + a_{\text{inferior}}}{8,50}$$

$$a_{\text{inferior}} = \frac{8,50 \times 5,52}{7,50} - 1 \rightarrow$$

$a_{\text{inferior}} = 5,25$

Fator da relação água x cimento (não muda)

$$\frac{x_{\text{basico}}}{1 + m} = \frac{x_{\text{inferior}}}{1 + (6,50 + 1)} \rightarrow \frac{0,90}{1 + 6,50} = \frac{x_{\text{inferior}}}{8,50} \rightarrow x_{\text{inferior}} = \frac{8,50 \times 0,90}{7,50} \rightarrow \underline{x_{\text{inferior}} = 1,00}$$

Traço auxiliar superior (TAS) (brita 0)

1	:	5,25	:	1,97	:	1,00
cim		areia		brita 0		água

