

IV SEMINÁRIO
“Desenvolvimento Sustentável
e a Reciclagem na Construção
Civil - Materiais Reciclados
e suas Aplicações”
05 e 06 de junho de 2001



IBRACON
COMITÊ TÉCNICO 206
MEIO AMBIENTE

Organização e Realização

IBRACON - Instituto Brasileiro de Concreto
Comitê Técnico – 206
Meio Ambiente



Promoção

EEM- Escola de Engenharia Maua
IPEN –Instituto de Pesquisas Energéticas
e Nucleares – CQMQA
IPT –Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo – DIGEO
PMI.USP- Escola Politécnica da USP
Depart° de Engenharia de Minas
PCC.USP –Escola Politécnica da USP -
Depart° de Engenharia de Construção Civil
SEPLAN - Secretaria de Planejamento
e Meio Ambiente da Prefeitura Municipal
de Vinhedo
UNESP –Universidade Estadual Paulista
UNITAU –Universidade de Taubaté

ANAIS

São Paulo – SP
05 e 06 de
junho de
2001

Ficha Catalográfica

IV Seminário “ Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil:
Práticas Recomendadas”

CT206 Meio Ambiente

São Paulo SP

Junho 2001

1. Resíduos de Construção civil – Coleta e Gerenciamento 2 Reciclagem de
novos Materiais e Técnicas de Aplicação 3 Reciclagem de Resíduos na
Construção Civil 4. Resíduos de Mineração e Meio Ambiente. p. 407

Comissão Organizadora

Aldo Siervo de Amorim - MQA - IPEN
Antonia Jadranka Suto - ABCP
Arlene Regnier de Lima Ferreira - IBRACON
Cássia S. de Assis - E.E. Mauá
Caludia^a Teixeira Arquitetar Solid
Emilio Y. Onishi - Landmark
Levy Rezende - UNINOVE
Lindolfo Soares - E. Politécnica PMI / USP
Márcio J. Estefano de Oliveira - UNESP/UNITAU
Maria Aparecida F. Pires - IPEN / CNEN-SP
Mirian Cruxên B. Oliveira - DIGEO - IPT
Rosemary S. I. Zamataro - ABRA
Salomon Mony Levy - E. Politécnica PCC.USP / UNINOVE (Coordenador)

http: www.ibracon.org.br e-mail: office@ibracon.org.br

Apoio Administrativo

IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto

Edição

Salomon Levy - E. Politécnica PCC / USP – Coordenador do CT-206

Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações”

SUMÁRIO

<u>PALESTRAS</u>	1
<u>O MANEJO E A RECICLAGEM DE ENTULHO EM BELO HORIZONTE - CHENNA, Sinara I.M. (1)</u>	3
<u>APLICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN CIVIL - VAZQUEZ, Enric. (1)</u>	11
<u>AGREGADOS RECICLADOS DE ALVENARIA E DE CONCRETO, CONTRIBUEM OU NÃO PARA A MELHORIA DA DURABILIDADE DOS NOVOS CONCRETOS ? - LEVY, Salomon M. (1); HELENE, Paulo R.L. (2)</u>	23
<u>TEMA I - RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL - COLETA E GERENCIAMENTO</u>	37
<u>AS IMPLICAÇÕES DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA LIMPEZA PÚBLICA - GIANSANTE, A.E. (1); LEVY, S. M.(2)</u>	39
<u>DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL - ÂNGULO, Sérgio Cirelli (1); ZORDAN, Sérgio Edurado (2); JOHN, Vanderley Moacyr (3)</u>	43
<u>DIAGNÓSTICO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL – INÍCIO DO CAMINHO PARA O USO POTENCIAL DO ENTULHO - XAVIER , Luciana Lopes (1); ROCHA, Janaide Cavalcante (2)</u>	57
<u>ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE ENTULHO PRODUZIDO EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS - ANDRADE, Artemária C. (1); SOUZA, Ubiraci E.L. (2); PALIARI, José C. (3); AGOPYAN, Vahan (4)</u>	65
<u>ESTAÇÕES DE CLASSIFICAÇÃO E TRANSBORDO NA CIDADE DE SÃO PAULO - FERRAZ, Gentil Ribeiro (1); MASSUDA, Oswaldo (2); ASSIS, Cássia S.; OLIVEIRA, Márcio J. Estefano; ZAMATARO, Rosemary S.I.; PIRES, Maria Aparecida F.; OLIVEIRA, Mirian Cruxên B.; AMORIM, Aldo S. (3)</u>	75
<u>RESÍDUOS DE CONCRETO: CLASSE III VERSUS CLASSE II - OLIVEIRA, Márcio J. Estefano (1); MATTOS, Juércio Tavares (2); ASSIS, Cássia Silveira (3)</u>	87
<u>TEMA II - RECICLAGEM DE NOVOS MATERIAIS E TÉCNICAS DE APLICAÇÕES</u>	97
<u>A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE COURO CURTIDO À BASE DE CROMO NA PRODUÇÃO DE COMPONENTES PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL - RECENA, Fernando A. Piazza (1); RESCHKE, Juliana Soares (2)</u>	99
<u>ANÁLISE DE PLACAS REFORÇADAS COM fibras DE SISAL ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS DE FAIXAS FINITAS - OLIVEIRA, Márcio J. Estefano (1); TERNI, Antonio Wanderley (2)</u>	113
<u>ARGAMASSA E BLOCOS DE CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE TINTA POLIURETANA - MARQUES, Mauro Nunes de Melo (1); TOCHTROP JR., Erwin Francisco (2)</u>	125
<u>COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL RECICLADO RESILIX - OLIVEIRA, Anagildes Caetano (1)</u>	133
<u>ESTUDO PARA O DESENVOLVIMENTO DE TUBOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE VIDRO - OLIVEIRA, Márcio J. Estefano (1); ASSIS, Cássia Silveira (2)</u>	139
<u>ESTUDO DE DIFERENTES FORMAS DE CURA EMPREGADAS EM MATRIZES SOLIDIFICADAS - Luz, Caroline Angulski (1); ROCHA, Janaíde Cavalcante (2); Cheriaf, Malik (3)</u>	152

<u>O ENTULHO GERADO NA APLICAÇÃO DE GESSO - LIBRAIS, Carlus Fabricio (1); SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes (2); SILVA, Luciano Luis Ribeiro (3); MAEDA, Fanny Mayumi (4)</u>	160
<u>POLIESTIRENO EXPANSO RECICLADO: MATERIAL ALTERNATIVO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL E NAVAL - OLIVEIRA, Fabiana Gonçalves (1); GUIMARÃES, André T. C. (2)</u>	168
<u>REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE MATERIAIS DE FRICÇÃO PACIONI Jr., Gentil (1); MARQUES, Celso M. Santos (2); MANDL, Artur R. (3)</u>	176
<u>REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUO VÍTREO (PÓ DE VIDRO TIPO SODA-CAL) NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO: UM ESTUDO EXPERIMENTAL ARRUDA, Maria de Fátima de Oliveira (1); PAMPLONA, Hilda de Castro (2); PAMPLONA, Afrodízio Durval Gondim (3)</u>	184
<u>UTILIZAÇÃO DO SUBPRODUTO FOSFOGESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL Rabelo, Ana Paula Brescancini (1); Soler, José Gabriel Maluf (2), Silva, Nivaldo Carlos (3)</u>	196
<u>UTILIZAÇÃO DE ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADO GRAÚDO, PARA A CONFECÇÃO DE NOVOS CONCRETOS - BRITO, L.A (1); CAVALCANTE, J. R. (2); CHERIAF, M. (3).....</u>	204
<u>PROPRIEDADES DE CONCRETOS ESTRUTURAIS INCORPORANDO CINZA PESADA COMO PARTE DA AREIA - KREUZ, Anderson Luiz (1); CHERIAF, Malik (2); ROCHA, Janaíde Cavalcante (3)</u>	216
<u>ESTUDO DE VIABILIDADE SOBRE A SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS NATURAIS POR AGREGADOS PROVENIENTES DA RECICLAGEM DE ENTULHO DE CONCRETO - Fonseca Silva, Eugênia (1); Liparizi, Fabrício Bacelar. (2); Vasconcelos, André Rogério (3).....</u>	226
<u>TEMA III - RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</u>	240
<u>ASPECTOS PETROGRÁFICOS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE ALVENARIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL - OLIVEIRA, Mirian C. B.(1); LEVY, Salomon M. (2); HELENE, Paulo, R. L. (3).....</u>	242
<u>ENTULHO EM CANTEIRO DE OBRA UTILIZADO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO - UMA ALTERNATIVA INADIÁVEL - GRIGOLI, Ademir Scobin (1).....</u>	252
<u>ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE CONTRAPISOS COM AGREGADO DE ENTULHO DE OBRA - TURMINA, Rogério Fabiano (1); BARROS, Mercia M. S. B. (2)</u>	266
<u>REAPROVEITAMENTO DO CONCRETO ATRAVÉS DO CONTROLE DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO COM USO DO ADITIVO ESTABILIZADOR - POLETTO, Antônio José Ceribelli (1)</u>	278
<u>RESÍDUO CERÂMICO COMO ADITIVO MINERAL EM CONCRETO - CORDEIRO, Guilherme Chagas (1); VAILLANT, João Marcos Miranda (2); DÉsir, Jean Marie (3)</u>	292
<u>MOLHAGEM DOS AGREGADOS DE ENTULHO DE OBRA PARA A EXECUÇÃO DE ARGAMASSA - MELHORA DO DESEMPENHO - GRIGOLI, Ademir Scobin (1)</u>	305
<u>RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS COM RELAÇÃO À PRESENÇA DE MATERIAIS CERÂMICOS DE ENTULHO DE OBRA - GRIGOLI, Ademir Scobin (1)</u>	319
<u>TEMA IV - RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E MEIO AMBIENTE</u>	331
<u>ADIÇÃO DE FINOS DE PEDREIRA EM MISTURAS DE SOLO-CIMENTO - PISSATO, Edilson (1); SOARES, Lindolfo (2)</u>	333
<u>APROVEITAMENTO DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO EM CONCRETO DE BLOCOS UTILIZADOS COMO QUEBRA-MAR. UM ENFOQUE AMBIENTAL - ARRIVABENE, L.F. (1); CALMON, J.L. (2); SOUZA, F.L.S (3).....</u>	343
<u>APROVEITAMENTO DE REJEITOS DO PROCESSAMENTO DA AREIA MONAZÍTICA - HENNIES, Wildor Theodoro (1); SOARES, Lindolfo (2); CORTES, Guillermo Ruperto Martin (3); LAUAND, Carlos Tadeu (4); FINKIE, Ramon (5)</u>	355
<u>APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA COBERTURA DE EXTRAÇÃO DO CARVÃO - MYMRIN, Vsevolod (1); SILVA, Neli Iloni Warpechowski (2).....</u>	367

<u>PREPARO DE ARGAMASSAS COM EMPREGO DE FINOS DE PEDREIRA - D'AGOSTINO, Liz Zanchetta (1); SOARES, Lindolfo (2)</u>	<u>377</u>
<u>VALORIZAÇÃO DO REJEITO DA PEDREIRA MUNICIPAL DE PIRENÓPOLIS (GO) COMO PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL - SILVA, Paulo Augusto Diniz (1); PASTORE, Eraldo Luporini (2)</u>	<u>389</u>
<u>RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA MINA DE CANA BRAVA - GO - QUEIROGA, Normando Claudino Moreira (1)</u>	<u>399</u>
<u>EXCELENTE DESEMPENHO COMPROVADO EM PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES ELABORADOS COM PÓ DE PEDRA Cuchierato, Gláucia (1) ; Sant'agostino, Lília M. (2)</u>	<u>405</u>

APRESENTAÇÃO

O **IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Materiais Reciclados e suas Aplicações”**, apresenta em sua quarta edição o resultado de um trabalho que vem sendo desenvolvido pelo Comitê Técnico do IBRACON CT 206 – Meio Ambiente, com o objetivo de fomentar a discussão, troca de experiências e consequente evolução na utilização de Materiais Reciclados na Construção Civil.

Nesta oportunidade o Comitê CT 206 – Meio Ambiente traz ao meio científico e à sociedade a problemática do descarte dos resíduos de construção civil e de mineração acompanhada de algumas iniciativas para solucionar a questão do meio ambiente e a experiência sobre a reciclagem destes materiais. São abordados ainda aspectos relativos à coleta e gerenciamento dos rejeitos de construção e de mineração, passando pelo reaproveitamento e reciclagem dos resíduos, suas técnicas de aplicação e o desenvolvimento de novos produtos para o setor da construção civil, evidenciando a minimização dos impactos ambientais advindos da reciclagem dos resíduos, além de apresentar um panorama da utilização de novos materiais reciclados na comunidade Européia.

O Comitê Técnico CT 206 tem registrado ano a ano o crescimento do interesse da comunidade científica, das empresas do setor da construção civil, dos órgãos públicos e a atuação cada vez maior do segmento de reciclados no mercado nacional, na busca de soluções adequadas para o desenvolvimento de materiais e técnicas inovadoras com a produção de materiais nobres a partir do emprego de resíduos de construção com consequente melhoria de qualidade do meio ambiente. Para este IV Seminário foram recebidos trabalhos de cunho eminentemente técnico e acadêmico, trabalhos de cunho prático relatando experiências das mais diversas. Uma vez que o objetivo deste evento é apresentar a evolução do avanço tecnológico, e do conhecimento no campo do desenvolvimento sustentável e da reciclagem, a Comissão Organizadora, para alcançar tal objetivo, se absteve de aplicar critérios eminentemente científicos para seleção do material publicado, dando assim oportunidade a todos os autores de relatar suas experiências, suas idéias e de defendê-las em plenário.

A Comissão Organizadora nesta oportunidade vem agradecer às entidades que apoiam o IV Seminário, que permite o trabalho continuado deste Comitê. Em especial faz-se um agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo - FAPESP e aos patrocinadores que colaboraram financeiramente para a realização e o sucesso do evento.

Comissão Organizadora CT 206

PALESTRAS



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

O MANEJO E A RECICLAGEM DE ENTULHO EM BELO HORIZONTE

CHENNA, Sinara I.M. (1)

(1) Engenheira Civil e Sanitarista, Superintendência de Limpeza Urbana de Belo Horizonte, SLU-PBH Belo Horizonte-MG E-mail sinara@pbh.gov.br

Palavras-chave: reciclagem, resíduos construção civil, entulho.

RESUMO

O Programa de correção das deposições clandestinas e reciclagem de entulho vem sendo desenvolvido desde 1993 e tem como objetivo geral promover a correção dos problemas ambientais gerados pela deposição indiscriminada desses resíduos em Belo Horizonte.

A opção pela implementação deste Programa partiu da constatação de que os resíduos da construção civil, por corresponderem a aproximadamente 50% dos resíduos coletados diariamente na cidade, demandam investimentos específicos para equacionar os problemas ambientais que acarretam especialmente quando inadequadamente dispostos.

O programa de reciclagem compõe-se de uma rede de Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes –URPVs destinada a receber materiais como entulho, objetos volumosos e poda e, de uma rede de Estações de reciclagem de Entulho. Duas estações estão em operação processando cerca de 360 toneladas/dia e oito URPVs atendem diversas regiões do município.

São desenvolvidos subprogramas complementares de comunicação e mobilização social, de fiscalização e de recuperação de áreas degradadas.

O material reciclado tem sido utilizado pela Prefeitura em obras de manutenção de instalações de apoio à limpeza urbana, em obras de vias públicas e, ainda, em obras de infra-estrutura em vilas e favelas. Em 2000 foram recicladas 95.212 toneladas de entulho e registradas 49.065 entregas voluntárias de resíduos nas URPVs.

1. HISTÓRICO

A Prefeitura de Belo Horizonte, através da Superintendência de Limpeza Urbana - SLU vem desenvolvendo, desde 1993, um Programa com ações voltadas à correção dos problemas ambientais causados pela deposição clandestina de entulho em lotes vagos, junto à córregos, em vilas e favelas e na periferia da cidade.

A experiência iniciou-se com a contratação, em 1993, de uma consultoria especializada para realizar o diagnóstico dos problemas relacionados com o descarte de resíduos da construção civil e apresentar uma proposta para sua solução.

Sendo a SLU uma autarquia municipal com atuação no município de Belo Horizonte, o Programa tem abrangência municipal. A capital mineira possui uma área de 335 km² e, de acordo como censo de 1996, uma população 2.091.448 habitantes. Levando-se em conta a população flutuante, a SLU considera nos seus Programas e ações uma população de aproximadamente 2.500.000 habitantes.

A opção pela implementação de um manejo diferenciado para essa categoria de resíduos no meio urbano partiu da constatação, pelo diagnóstico dos resíduos gerados, de que eles correspondem a aproximadamente metade da massa de resíduos coletada diariamente em Belo Horizonte, demandando investimentos específicos para equacionar os problemas ambientais que acarretam, especialmente quando despejados em locais inadequados. Tais problemas estão relacionados, entre outros, principalmente com a obstrução dos sistemas de drenagem urbana (galerias, canais e corpos d'água) e com a formação de abrigos para animais vetores de doenças.

Ações específicas no sentido de estruturar, de forma diferenciada, o manejo e a reciclagem de entulho no município, foram iniciadas a partir do estudo contratado pela SLU, em 1993, que realizou um diagnóstico da situação do município especificamente em relação aos resíduos de construção. Esse diagnóstico constatou a existência de 134 áreas de deposição clandestina, que abrigavam a coleta diária de cerca de 425 metros cúbicos de material. A partir desse estudo foi estimada, a geração de 2.000 metros cúbicos de resíduos de construção ao dia, entre material proveniente de aterro (1.250 metros cúbicos) e entulho gerado nos processos de construção (750 metros cúbicos).

Parte do material era disposto adequadamente em bota-foras autorizados pela administração municipal e parte era depositada de forma irregular pela malha urbana, gerando problemas para o município e custos para sua correção.

A partir desse diagnóstico, estruturou-se um Programa voltado à instalação de unidades físicas descentralizadas para receber esse material em pequenas quantidades para encaminhamento posterior às estações recicladoras.

Na dinâmica do trabalho, uma importante vertente é a aproximação do poder público com os agentes transportadores de entulho na cidade, especialmente os carroceiros. Atividades voltadas à sua sensibilização e conscientização quanto aos problemas ambientais da disposição clandestina de entulho na cidade são desenvolvidas permanentemente com esse grupo. Esses agentes são orientados a descartar o entulho somente em locais autorizados facilitando

e barateando o transporte para o aterro sanitário e estações de reciclagem, diminuindo a poluição e a degradação ambiental, bem como a ocorrência de ratos, escorpiões e baratas. Entretanto, já se identifica a necessidade de ampliação dessa atuação em termos de abrangência do território municipal, buscando também maior integração dos carroceiros entre si, com a SLU e outros órgãos da PBH.

2. ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

Em linhas gerais, o Programa de Correção de Deposições Clandestinas e Reciclagem de Entulho estrutura-se numa *rede de áreas* para o manejo, tratamento e deposição dos resíduos de construção e numa *rede de sub-programas* complementares visando diversificar, ampliar e qualificar as ações voltadas à informação, à fiscalização e à promoção da recuperação de áreas degradadas pelo depósito irregular de entulho.

A rede de áreas é constituída por:

Rede 1 - Estações de Reciclagem de Entulho

Rede 2 - Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes - URPVs

A rede de sub-programas complementares compõe-se de:

Sub-Programa de Comunicação e Mobilização Social

Sub-Programa de Fiscalização

Sub-Programa para Recuperação de Áreas Degradadas

Em termos da logística de funcionamento da rede de áreas, a tecnologia adotada privilegia a simplicidade de procedimentos buscando facilitar ao máximo a atração dos usuários com a perspectiva de captar materiais para a reciclagem e para a disposição em locais adequados, conforme descrito a seguir.

2.1. Rede 1 - Áreas para Reciclagem de Resíduos de Construção - Estações de Reciclagem

Estas áreas têm a finalidade de:

- receber resíduos de construção considerados recicláveis após verificação na portaria;
- proceder à classificação, britagem e expedição do material;
- funcionar, sempre que possível e viável, como Local de Entrega Voluntária do projeto de coleta seletiva de materiais recicláveis (papel, metal, vidro e plástico).

Para a instalação das Estações de Reciclagem são previstas áreas de pelo menos 6.000 metros quadrados, muradas ou cercadas, preparo de barreira vegetal para proteção acústica e contenção do material particulado, edificação de instalações de apoio (administração, sanitário e vestiário) e execução de bases e pontos de água e energia para instalação do conjunto reciclador,

conforme projetos específicos. Duas Estações de Reciclagem estão instaladas e em funcionamento nas Regionais Oeste e Pampulha.

2.2. Rede 2 - Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes de Entulho - URPVs

A grande ocorrência de deposições clandestinas em muitos casos pode ser debitada à insuficiência de locais apropriados para a deposição de pequenos volumes de resíduos ou de objetos de dimensões incompatíveis com a remoção pelos caminhões da coleta domiciliar e comercial (bagulhos).

Não havendo solução, é feita a disposição incorreta e o pequeno volume acaba funcionando como elemento atrativo para a população ali depositar outros resíduos e em quantidades cada vez maiores, caracterizando-se assim a degradação urbana pelas deposições clandestinas. Essa situação é especialmente observada junto a vilas e favelas onde existem pontos de acúmulo desses resíduos, comprometendo não só a limpeza urbana, mas também a segurança e a salubridade das habitações e do seu entorno.

A formação desta Rede visa oferecer uma solução viável para os pequenos transportadores e os municípios em geral, com a criação de áreas para deposição de pequenos volumes que, ao mesmo tempo funcionam como pólos irradiadores e organizadores dos fluxos de transporte e armazenamento temporário de pequenos volumes de entulho e outros materiais inertes.

As Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes - URPVs têm por finalidade:

- receber gratuitamente pequenos volumes (até 2 m³ diários, por transportador) de resíduos de qualquer natureza (resíduos de construção, material de aterro, aparas de vegetação e de madeira, e bens de consumo danificados), exceto animais mortos, lixo orgânico e industrial;
- proceder à classificação e à organização dos diversos resíduos para possibilitar a remoção racionalizada e a diferenciação do tratamento, com o uso de caçambas na organização e remoção dos resíduos dessas áreas para facilitar a estocagem e diminuir os custos com a remoção;
- organizar (por escala de atendimento e em função da capacidade operacional instalada em cada unidade) pequenos coletores credenciados, que utilizam veículos de pequeno porte; na perspectiva social, é contemplada a organização da secular atuação de carroceiros no transporte de entulho na cidade;
- dar encaminhamento às solicitações telefônicas da comunidade para contratação de serviços de retirada de pequenos volumes de resíduos de construção por coletores autônomos;
- funcionar, sempre que possível e viável, como Locais de Entrega Voluntária - LEV para recebimento dos materiais destinados à coleta seletiva (papel, metal, vidro e plástico).

2.3. Sub-Programas Complementares

Para prevenir conflitos e informar à população no entorno de locais destinados à implantação de unidades do Programa de Reciclagem de Entulho, a SLU desenvolve um trabalho prévio à implantação, por meio de contatos diretos com comerciantes, setores organizados, escolas, comunidades religiosas, postos de saúde e também de porta a porta com a população residente. São produzidos impressos específicos e, muitas vezes, preparadas esquetes teatrais com o roteiro direcionado àquela ação em particular. Contatos diretos com a população do entorno das unidades, antes e após a sua implantação, a criação de eventos artísticos na inauguração das mesmas, bem como a promoção de visitas de estudantes, professores e da população em geral, são realizados com o objetivo de informar para neutralizar resistências e buscar o envolvimento da comunidade para garantir o funcionamento das unidades em harmonia com a vizinhança e a apropriação das mesmas pela comunidade.

São ações de interação com a comunidade e com os agentes envolvidos na geração e no transporte do entulho na cidade, de caráter educativo e sensibilizador, que enfatizam a divulgação das unidades instaladas para recebimento e reciclagem de entulho, bem como a importância do adequado funcionamento do sistema, para minimização dos diversos problemas sociais e ambientais causados pelo descarte aleatório do resíduo em contraposição aos benefícios advindos de seu adequado tratamento.

A criação de oportunidades de comunicação como o Disque-Carroça, o Disque-Limpeza e os materiais informativos impressos, têm sido extremamente importantes na ocupação de espaços nobres em rádios, jornais e televisão com veiculação para milhares de pessoas.

Os sub-programas de fiscalização e de recuperação de áreas degradadas atuam buscando romper com o rodízio que os depositores clandestinos de entulho estabelecem entre os diversos locais.

Atendendo à demanda deste e de outros programas da SLU, a prática da implantação de Pontos Limpos / Pontos Verdes¹, atua na recuperação de áreas degradadas pela deposição clandestina de entulho e de outros resíduos, contemplando a participação de outros órgãos da administração municipal.

As áreas recuperadas, de acordo com a metodologia adotada para os Pontos Limpos/ Verdes, são revigoradas nos seus aspectos físico e paisagístico, através de pequenas intervenções localizadas: intimação ao proprietário para a execução de muro e passeio nos terrenos vagos de propriedade particular, execução de plantio de vegetação de pequeno e/ou médio porte, pintura de avisos alusivos à correção ambiental do terreno e à importância de sua manutenção e fiscalização pela comunidade do entorno.

¹ O Programa Ponto Limpo Ponto Verde constitui-se num conjunto de ações de mobilização social para viabilizar a erradicação da prática de deposição indevida de resíduos em locais situados em regiões que possuem atendimento regular com coleta de lixo. Em mutirão é realizada a limpeza do local, a colocação de placa indicativa da ação realizada e da infração ao Regulamento de Limpeza Urbana correspondente ao lançamento de resíduos em locais inadequados.

3. OPERACIONALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES

Para execução das atividades ligadas à implantação e manutenção da *rede de áreas* para o manejo e reciclagem dos resíduos de construção e da *rede de sub-programas* complementares, a SLU dispõe de uma estrutura que funciona de forma interativa entre as áreas técnica, de mobilização e operacional.

Junto à área operacional a organização das atividades contempla uma coordenação que acompanha o funcionamento das URPVs e faz a interface entre as áreas operacional, técnica, de mobilização e de fiscalização internas, bem como a interação com as Administrações Regionais e as outras fiscalizações municipais.

A manutenção do funcionamento de cada URPV (recepção dos materiais e transporte até as estações de reciclagem ou aterro sanitário) faz parte do rol de atribuições das áreas operacionais da limpeza urbana regionalmente descentralizadas.

As operações de reciclagem de entulho propriamente ditas (recepção e classificação, britagem, expedição, manutenção dos equipamentos, etc) são realizadas sob a responsabilidade administrativa e operativa da gerência regional onde se localiza cada estação.

As ações de caráter mobilizatório são desenvolvidas sob a coordenação de um profissional da área de mobilização social, que aciona os recursos humanos e elabora os materiais específicos para as atividades voltadas ao Programa, sendo ainda responsável pelas atividades ligadas aos carroceiros e às visitas organizadas às unidades.

É importante considerar que os bota-foras autorizados pela municipalidade para recebimento de materiais de desaterros são áreas importantes no sistema global do manejo e disposição de resíduos provenientes da atividade construtiva na cidade. A rede de estações de reciclagem e de Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes destina-se prioritariamente ao recebimento da parcela de resíduos de construção recicláveis. Para a parcela não-reciclável, os locais para destinação final prioritários são o aterro sanitário e os bota-foras autorizados pela municipalidade.

A coordenação geral do Programa tem o papel de atuar como facilitadora dos processos e demandas articulando pessoas e instituições para equacionamento dos problemas e dificuldades verificados, para atualização e socialização de informações, para avaliação permanente e correção de rumos de acordo com as diretrizes gerais da política municipal de limpeza urbana.

4. CUSTOS ENVOLVIDOS

O equipamento de reciclagem da Estação Estoril, com capacidade nominal para 120 t/dia, custou, em 1994, cerca de R\$65.000,00. As obras de infra estrutura ficaram em R\$ 35.000,00.

O investimento na estação Pampulha foi, em 1996, da ordem de R\$190.000,00 sendo que o equipamento, para 240 t/dia, custou R\$ 140.000,00.

Os custos da reciclagem de entulho em Belo Horizonte (jan./2000), são da ordem de R\$13,00 por tonelada reciclada ou R\$ 15,80 o metro cúbico reciclado

considerando-se nessa composição o aluguel de 2 máquinas pá-carregadeiras, 29 trabalhadores diretamente envolvidos, serviços de terceiros (vigilância, água, energia elétrica, telefone), materiais de consumo, custos indiretos (administrativo, fiscalização, mobilização social e manutenção da construção civil) e depreciação de bens móveis.

Em termos percentuais, esse custo distribui-se da seguinte forma: 37,33% mão-de- obra, 27,56% serviços de terceiros, 16,64% custos indiretos, 14,50% aluguel de máquinas, 2,09% material de consumo e 1,86% depreciação.

A título ilustrativo os materiais “concorrentes” aos materiais reciclados do entulho, tem os seguintes preços médios em Belo Horizonte (dez/99): Cascalho de Pedreira R\$ 13,92 o metro cúbico, a Areia Comum que é comercializada a R\$ 17,78 o metro cúbico, a Brita nº. 02 que é comercializada a R\$ 18,84 o metro cúbico e a Escória de Siderurgia que é comercializada a R\$ 6,50 a tonelada.

5. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

5.1. Ampliação do alcance do programa

Das quatro estações de reciclagem de entulho previstas originalmente, duas foram instaladas (nas regiões Oeste e Pampulha) e recebem resíduos diretamente em seu pátio e também oriundos das Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes - URPVs. Oito URPVs foram instaladas entre 1996 e 2000.

Em 1998, foram recebidos nas URPVs 2.611 m³ de entulho. Por tipo de veículo transportador, o número total de viagens em 1998 foi de 2.514 viagens de veículos leves (automóveis), 2.995 viagens de carroças (tração animal) e 181 viagens com carrinho de mão. A implementação ainda parcial da reciclagem de entulho desviou do aterramento, nos anos de 1997 e 1998, médias diárias ascendentes de 105 e 186 t/dia, respectivamente. Das 67.788 toneladas de entulho destinadas à reciclagem, após a triagem dos materiais impróprios, resultou a produção de 53.674 toneladas de material reciclado. Em termos volumétricos isso significa que deixaram de ser aterrados, só em 1998, cerca de 38.300 m³ de entulho.

Com o crescimento do número de URPVs instaladas na cidade e o fortalecimento do Projeto Carroceiros, pode-se afirmar que 1999 foi o ano em que o aspecto social do Programa começou a se destacar. Para eliminar os pontos de deposição clandestina de resíduos de construção, especialmente aqueles realizados por carroceiros, a SLU vem desenvolvendo um intenso trabalho educativo com esses agentes e com a comunidade. O fortalecimento do trabalho intersetorial na administração municipal viabilizou a construção de mais três URPVs em 1999.

Em 2000, dando continuidade à ampliação da rede de unidades de recebimento de pequenos volumes, mais três foram inauguradas. Dois locais passaram a ser utilizados pelos carroceiros da região do Barreiro, na expectativa de construção de mais duas URPVs naquela área e um local próximo ao Aterro Sanitário, no bairro Califórnia.

5.2. Evolução quantitativa da captação de resíduos e da reciclagem de entulho

A primeira Estação de reciclagem, a do Estoril, começou a funcionar em novembro/95 e a segunda, a da Pampulha, em dezembro/96.

A capacidade nominal dos equipamentos era de 120 t/dia e 240 t/dia, respectivamente. Algumas modificações no equipamento da Estação Estoril, possibilitaram o aumento da capacidade produtiva daquela estação, tendo sido obtida, em agosto/99, uma média diária de 240 t/dia de material reciclado.

Em 1996, ano de início da reciclagem de entulho no município, foram recicladas 16.363 toneladas. Em 2000 foram recicladas 95.212 toneladas o que representa um aumento de 5,8 vezes comparativamente a 1996.

Apesar de continuamente crescente, as quantidades recicladas ainda são baixas em relação à quantidade de resíduos de construção aterrados em 2000 que foi de 714.900 toneladas. Entretanto, para efeitos comparativos deve-se considerar que, do total encaminhado ao aterro, cerca de 50% refere-se à terra, nessa tecnologia considerada como resíduo de construção civil não passível de reciclagem.

Ao longo do ano 2000 foram recebidas cerca de 30.000 toneladas de resíduos nas Unidades de Recebimento de Pequenos Volumes entregues por **49.065 usuários** dos quais 27.533 com viagens de entulho e 21.532 com outros resíduos tais como objetos volumosos, podas, pneus, sucatas. Do total de resíduos captados nas URPVs, cerca de 30% é entulho reciclável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PINTO, T. P.; (1992) Entulho – Problema urbano que pode gerar soluções, Revista Construção nº 2325, São Paulo, SP.

I&T, INFORMAÇÕES E TÉCNICAS EM CONSTRUÇÃO CIVIL/SUPERINTENDÊNCIA DE LIMPEZA URBANA; (1993) Programa Global para otimização da disposição, coleta e reciclagem de resíduos de construção, Belo Horizonte-MG.

SLU/PBH, Relatórios Anuais da Limpeza Urbana, 1996 a 2000, Belo Horizonte-MG.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

APLICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN CIVIL

VAZQUEZ, Enric. (1)

- (1) Catedrático de Materiales de Construcción, en el Departamento de Ingeniería de la Construcción, de la E.T.S.E. Caminos, Canales y Puertos de la Universitat Politècnica de Catalunya, Campus Nord, Módulo B-1, Jordi Girona 1-3, 08034 Barcelona, España. E-mail enric.vazquez@upc.es.

RESUMEN

Se exponen los conceptos de material secundario, Design for Recycling, Chain Management y calidad en el uso de los nuevos materiales reciclados. Tras tratar las prácticas de aplicación con residuos de construcción y demolición se estudian los problemas económicos y logísticos en el deseable uso de materiales secundarios en el hormigón. Se estudia ampliamente el uso de las escorias de acero y se acaba con un resumen de aplicaciones y materiales, reciclados más comunes en Europa y algunas recomendaciones en el estudio de su impacto ambiental.

Palabras-clave: Residuo, material secundario, hormigón, subbases, escoria de acero, expansión lixiviación.

1. INTRODUCCIÓN

En la última década el sector de la construcción ha pasado a ser una parte primordial de la política ambiental. La construcción sostenible como principio básico de esa política requiere la reducción en el uso de materias primas no renovables, el aumento del uso de las renovables y el de materiales secundarios empleados de forma segura para el medio ambiente y para la finalidad constructiva. Los materiales secundarios son materiales recuperados reutilizables. Este uso contribuye también a la sostenibilidad reduciendo el volumen de materiales residuales en la propia construcción.

El material secundario requiere una serie de operaciones previas como la selección y la separación. Muy a menudo carece de homogeneidad y el proceso preparatorio puede ser complejo. El material de demolición de un edificio debe ser liberado del hierro, la madera, los plásticos, el yeso, el

aluminio, el cinc etc., antes de transformarlo en un agregado apto par su uso como material secundario en otra construcción.

Algunos reciclajes aparecen como casi imposibles. Así los materiales metálicos y los plásticos se han combinado durante muchos años de tal forma que las separaciones resultan muy complejas. Para evitar esta situación nace el concepto de “Design for Recycling” (DFR). Aquel diseño que permite y facilita el reciclaje. Así algunos materiales frecuentemente utilizados en la construcción son sustituidos por otros que no dificultan el reciclaje.

El segundo aspecto fundamental del “Design for Recycling” es dar preferencia al uso de materiales reciclados en el proyecto. El DFR debe ser impulsado por las autoridades, hasta que se convierta en una práctica habitual.

Acompañan a este concepto las definiciones comunes de:

- Reciclaje primario: Aquel en que el producto original pasa a ser el material directo de una misma construcción. Como ejemplo tenemos el reciclado del aglomerado asfáltico in situ.
- Reciclaje secundario: Que consiste en reintroducir el material en el ciclo con un propósito distinto. Como ejemplo tenemos la utilización de un pavimento de hormigón reciclado como material de subbase.
- Reciclaje terciario: Descomposición de un material usado para obtener otro material. Se usa en el sentido de despolimeizar para obtener otro plástico polimérico.
- Reciclaje cuaternario: Conversión de materiales usados en energía. No es realmente un reciclaje.

La utilización de materiales secundarios en el DFR va ligado en la metodología más moderna al llamado “Chain Management” que se refiere a la gestión de todo el ciclo de vida del material de construcción. El Chain Management ideal en su aplicación al material secundario lleva a devolver la máxima cantidad de éste a la aplicación original cerrando el ciclo particular. Esta solución es la óptima ambientalmente hablando frente a las otras posibles.

- Por último el uso de materiales secundarios debe hacerse asegurando la calidad. Existen métodos para garantizar la calidad cuando se sustituyen materiales primarios por los secundarios. Su estrategia se basa en el empleo de normas específicas. Así existe ya un proyecto de norma europea para el empleo de agregados procedentes de demolición en el hormigón, cuyo precedente está en las normas ad-hoc danesa, holandesa y alemán.

2. RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

Este material se recicla en Europa prácticamente en su totalidad aplicándolo a la construcción de carreteras (tab.1). Si se contempla el problema dentro del llamado “Chain Management” es evidente que esta practica no cierra el ciclo de forma perfecta. En cambio si lo hace el uso de hormigón de demolición como árido de un nuevo hormigón. En cualquier caso los productos obtenidos responden a unos criterios de selección y clasificación.

Tabla 1- Productos obtenidos a partir de RCD y utilización.

Material obtenido	Principal Componente	Componente Secundario	Aplicación
Hormigón machacado	$\geq 80\%$ Hormigón con una densidad seca $> 2100 \text{ Kg/m}^3$	$\leq 10\%$ piedra, cerámica $\leq 5\%$ aglomerado asfáltico	Subbases en cualquier tipo de carreteras
Cerámica machacada	$\geq 85\%$ del material mineral debe tener $d_s < 1600 \text{ Kg/m}^3$	$\leq 15\%$ de otros materiales minerales $\leq 10\%$ aglomerado asfáltico	Solo subbases para tráficos no pesados
Material residual Machacado Mixto	$\geq 50\%$ hormigón con $d_s > 2.100 \text{ Kg/m}^3$ $\leq 50\%$ material mineral $d_s < 1.600 \text{ Kg/m}^3$	$\leq 10\%$ otros materiales minerales $\leq 5\%$ mezcla asfáltica	Subbases para cualquier tipo de carreteras

Se obtiene además una arena 0/4 de uso múltiple en la construcción de carreteras y que es bien aceptada.

Es especialmente importante reseñar que el comportamiento elástico es comparable en el caso del hormigón machacado, al de una base de agregado normal no ligada (zahorra), pero que además tiene la propiedad de aumentar con el tiempo. Este fenómeno se presenta en menor grado en el material mixto y no se presenta en la cerámica machacada.

Esta mejora ha sido comprobada in situ en diversos casos, entre ellos en la subbase de la carretera de tráfico muy pesado entre Papiol y Rubí que fue construida con un 0/40 mm de hormigón machacado ensayado y controlado en nuestros laboratorios.

Es de gran interés el uso de la categoría "hormigón machacado" como material único del nuevo hormigón de un pavimento (capa superior) para tráficos ligero y pesado. Debe advertirse que si en lugar de utilizarse un hormigón machacado 0/40 mm, se utiliza un 4/40 mm y un 20-30% en peso de 0/4 mm no reciclado, se consigue la misma resistencia con un contenido de cemento algo menor. Para tráfico muy pesado se prefiere su uso en capas inferiores.

Las dos otras categorías no deben ser utilizadas en capa superior. Sin embargo en Holanda, cuando el pavimento de hormigón se aplica en 2 capas, las tres categorías de material reciclado sirven para la capa inferior. Su resistencia a compresión puede ser menor a la normalmente requerida para un pavimento de hormigón de rodadura, pues el hormigón de esa capa inferior solo actúa como subbase ligada y puede disminuirse la cantidad de cemento.

Una capa de base cuyo uso se esta haciendo muy popular consiste en una mezcla grava-cemento como las usadas en Francia y España, pero con total

sustitución de la grava por hormigón machacado. El contenido de cemento está entre 3 y 5 % y todo ahorro de cemento es muy interesante por lo que la dosificación de árido reciclado debe ser precisa y bien estudiada.

En capas de subbase de agregado no ligado las tres categorías desempeñan perfectamente su cometido, incluso para la mayoría de situaciones de hielo-deshielo que se dan en Europa Occidental.

3. AGREGADO RECICLADO EN SU EMPLEO COMO NUEVO HORMIGÓN

El Chain Management del hormigón señala esta aplicación como la más recomendable. En los países más desarrollados de Europa el hormigón representa el 40% del total de los residuos de demolición. En teoría existe pues una cantidad importante de materia prima. El mercado potencial evaluado por Hendriks para Holanda es del orden de 4 millones de toneladas para uso en hormigón, sin embargo a corto plazo el material procesado disponible solo es de 100.000 Tn., el agregado reciclado para hormigón requiere un lavado y los barros residuales deben ser vertidos a los elevados precios que imperan en aquel país. Además se genera una fracción 0/4 mm que aunque tiene aplicación no es fácil de vender a las plantas de hormigón. Al reciclador le resulta pues más rentable vender "Hormigón machacado" 0/20 o 0/40 mm para los usos descritos en el anterior apartado 1.

Sin embargo, a largo plazo y en algunos países a medio plazo, las perspectivas no son desfavorables ya que la intervención de los gobiernos endurecerá la legislación ambiental, introduciendo el lavado obligatorio incluso para subbases y rellenos y existe la intención de que los costes de lavado sean repercutidos en los costes de vertido del residuo de demolición, respondiendo a la idea de que la responsabilidad es del que produce el residuo.

En Alemania y en España existen estudios tendentes a solucionar el problema de la aplicación de los subresiduos generados en el proceso de tratamiento en jardinería y paisajismo, que en opinión de las empresas informadoras ofrecen suficiente margen para cubrir el sobrecoste que representa producir un agregado reciclado para hormigón estructural.

Existe en la actualidad una producción proporcionalmente pequeña de hormigón estructural con agregado reciclado, pero el número de estudios e investigación producidas en los últimos años han permitido la existencia de tres normativas en aplicación (alemana, danesa y holandesa). En España existen solo recomendaciones generales en publicaciones propias que siguen a grandes rasgos las tendencias alemana y holandesa, pero el interés del mercado en tiempos muy recientes que solo puede calificarse de sorprendente, permite predecir una próxima norma para la situación de transición hasta la aparición de una norma europea definitiva (¿3-7 años?).

Si se utiliza cualquiera de las tres categorías de RCD's en el hormigón hay que tener caracterizado el efecto sobre resistencia y durabilidad de los contenidos en cloruros, madera, yeso, materiales que provoquen la reacción alcali-árido, incluido el vidrio y también la posible presencia de asfalto. Existen valores límite para todos ellos presentes en las normativas.

Cuando solo se usan las fracciones superiores a 4mm los agregados de hormigón machacado son las que ofrecen resultados más análogos al hormigón en agregados primarios. Debe dominarse bien el movimiento de agua que propicia la porosidad del árido reciclado. La saturación previa de los áridos es un práctica extendida aunque en nuestros estudios aparece claro que no conduce a resultados óptimos y que una pre-saturación y secado natural hasta $\approx 80-85\%$ conduce a formación de una mejor interfase.

Cuando se usa "cerámica machacada" como agregado $> 4\text{mm}$, la resistencia a compresión es del 90% y el modulo de deformación del 75% la resistencia atracción baja ligeramente, pero la retracción supera el 40% de la de los hormigones de referencia. La experiencia en Alemania y Holanda en estos hormigones que iniciada en el periodo de postguerra. La tecnología de los mismos se inspira en la de los hormigones ligeros.

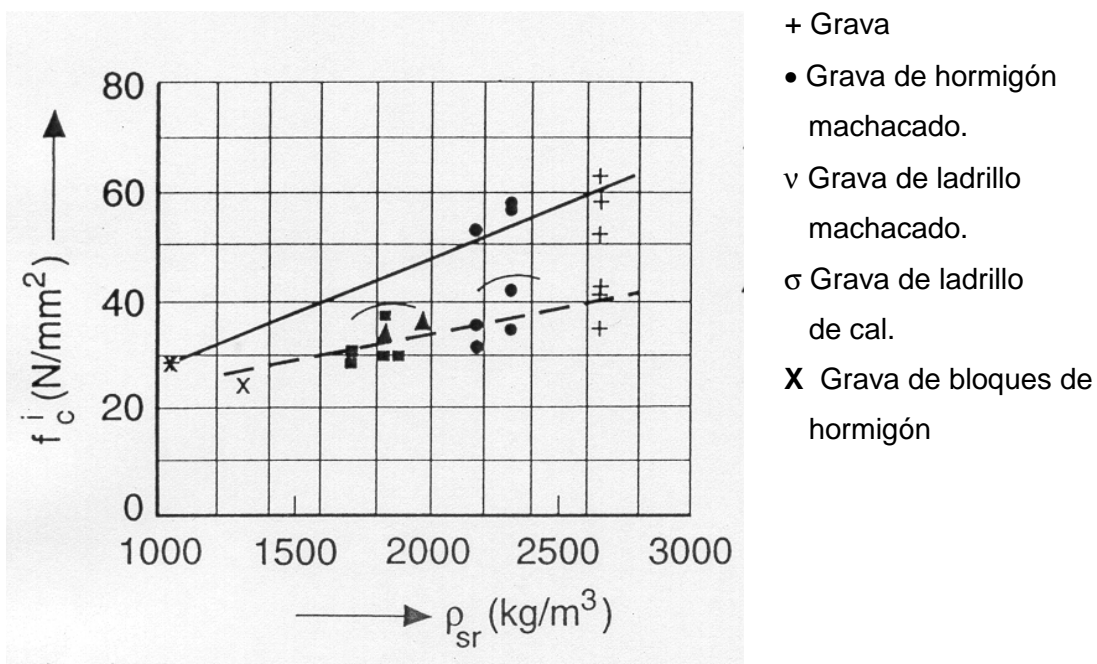


Fig.1 Relación entre la resistencia a compresión a 28 días en cubos de hormigón en diferentes agregados reciclados y la densidad aparente de sus partículas.

El punto neurálgico está en la fluencia que, tanto con agregados de hormigón como cerámicos, muestran ratios de 1.4. Sin embargo recientes estudios muestran que la influencia del árido reciclado es desdeñable hasta un 30% de sustitución de la grava. Existen estudios sobre durabilidad y fatiga.

En general puede decirse que con los conocimientos actuales los usos adecuados son:

Hormigón con agregado de hormigón

- Cualquier aplicación y resistencia supera el 20% de sustitución.
- Para mayores sustituciones hay que tener muy en cuenta las limitaciones que impone la fluencia y en algunos casos la retracción.

Hormigón con agregado cerámico

- Cualquier aplicación si solo se substituye un max. del 10%
- Apto con mayor sustitución para hormigones de resistencia característica hasta 25 MP_a.
- No aptos para exposición al hielo-deshielo.
- Además, mismas limitaciones que los agregados secundarios de hormigón.

4. ESCORIA DE ACERO

Son conocidas desde hace muchos años las aplicaciones de las escorias procedentes de los procesos de obtención de hierro. La escoria granulada y la peletizada se utiliza como agregados y la producción de cemento con escoria es una práctica industrial bien conocida en Brasil.

El problema cambia mucho cuando entramos a considerar la escoria de acero. La industria del acero en Europa produce unos 12 millones de toneladas de escoria de acero de las cuales el 65% tienen aplicación, pero el 35% aún van a vertedero.

Alemania constituye un caso a parte pues solo lleva un 7% a vertedero. Los problemas de aplicación están en la expansividad provocada por el C_aO libre, el MgO libre y los compuestos de hierro. La expansión es crítica en matrices rígidas como el hormigón, pero su efecto no debe desdeñarse en la aplicación suelta como subbase o ligada con betún en capa de rodadura.

Es especialmente interesante el caso de las escorias que proceden del proceso de horno de arco eléctrico, pues tienen un muy bajo contenido de C_aO libre. Esta característica determina que cuando se evalúa la estabilidad dimensional de las mismas con los procedimientos convencionales como el ASTM D 4792-88 o el NLT-361/91 (Ageing Degree), los resultados obtenidos son buenos. Ello puede llevar a considerarlas aptas para la producción de hormigón, además de su empleo como áridos con bases no ligadas y capas de rodadura asfálticas. Para estas dos últimas aplicaciones la forma de evaluar segura es el Ensayo de acción del vapor que se ha incorporado definitivamente a la norma europea EN-1744-1 (ver foto1).



Foto 1. Máquina tratamiento vapor para escorias.

En este ensayo la escoria compactada con una granulometría 0/22 mm es sometida a la acción de una corriente de vapor a 100° C a la presión atmosférica. El vapor proporciona el agua suficiente para hidratar el MgO libre, principal protagonista en este caso y la cal libre, presente en poca cantidad. Se mide el aumento de volumen. Las largas discusiones para la interpretación de los resultados han llevado a clasificar las escorias de acero según este ensayo y la determinación del contenido de C_aO libre por el método del etilenglicol y el MgO total, y no el libre ya que no existe ningún método adecuado para ello.

La tabla 2 refleja las diferentes categorías adoptadas de acuerdo con la experiencia alemana.

Tabla 2- Valores max. de la expansión para la escoria de acero, en el ensayo de efecto del vapor EN-1744-1

Tipo de escoria de acero	Expansión máxima (% en volumen)		Tiempo de Ensayo (horas)	Categoría
	mezclas bituminosas	escoria no ligada		
BOF Y EAF (MgO ≤ 5%)	3,5	5	24	V _A
BOF Y EAF (MgO > 5%)	3,5	5	168	
BOF Y EAF (MgO ≤ 5%)	6,5	7,5	24	V _B
BOF Y EAF (MgO > 5%)	6,5	7,5	168	
BOF Y EAF (MgO ≤ 5%)	10	10	24	V _C
BOF Y EAF (MgO > 5%)	10	10	168	
BOF Y EAF (MgO ≤ 5%)	no se requiere			V _D
BOF Y EAF (MgO > 5%)				

BOF- Basic Oxygen Furnace
EAF- Electric Arc Furnace

La categoría V_A es apta para capas no ligadas y para capas asfálticas. Pero cuando la escoria se usa como árido de un hormigón no existe aún ningún ensayo europeo oficial seguro normado. En nuestro laboratorio se ha puesto en servicio un método que consiste en someter un hormigón tipo y otro con análoga composición y sustituyendo los áridos naturales por la escoria a ensayar, a una temperatura de $70^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ y una humedad del $90\% \pm 1^{\circ} \text{C}$, en una cámara climática. El control visual durante 42 días revela que varias probetas muestran daños ya a las 2 semanas. La expansión solo aparece en las probetas con escoria y nunca en las de referencia. Los hormigones de escoria ensayados habían mostrado comportamientos mecánicos muy satisfactorios y las escorias habían pasado los tests clásicos citados al principio.

En la cámara los daños aparecieron en todos los hormigones con escoria. Aunque el efecto de la expansión es más claro y pronunciado cuando la sustitución del agregado es total, las fisuras mayores se detectaron cuando la sustitución era solo de grava y las más numerosas y finas cuando la sustitución era solo de arena. El MgO total era $< 5\%$ y la cal insignificante. Tras numerosas experiencias llegamos a la conclusión de que la edad de las probetas no afectaba el tiempo necesario para la aparición de daños (foto 2).



Foto 2. Detalle de la probeta de hormigón fisurada.

El mecanismo de ruptura observado es siempre el mismo. Aparecen algunas fisuras que indican la expansión y estas continúan creciendo hasta producirse desprendimientos, que siempre descubren el grano de escoria causante de la expansión. Su observación microscópica permite sistemáticamente detectar un núcleo de MgO como origen del fenómeno (foto 3).



Foto 3. Grano de MgO.

El interés por los hormigones de escoria de acero es muy grande pues como se ha podido observar en una tesis doctoral efectuada en nuestro laboratorio, el comportamiento mecánico de los hormigones con escorias de acero muestra resistencias a compresión superiores que los hormigones de referencia con la misma a/c y slump, y módulos prácticamente iguales. Son durables respecto a otros factores que el señalado y ambientalmente muestran niveles aceptables de composición de lixiviados. La resolución del problema expansivo es pues del mayor interés. En algunos casos el envejecimiento y mojado de la escoria es suficiente, sin embargo, hasta ahora el método 100% seguro es el desarrollado en un proyecto Brite-Euram de la Unión Europea por un equipo mixto de la Forschungsgemeinschaft Eisenhüttenschlacken e V. y la Thyssen Krupp Stahl AG que consiste en tratar la escoria líquida con una inyección de oxígeno y arena de cuarzo seca. Se reduce la relación C_aO/SiO_2 y la cal queda ligada y también el MgO.

El procedimiento de envejecimiento y riego es factible pero precisa de tiempo y mucho espacio de almacenamiento y requiere un control sistemático de C_aO y MgO en la descarga y una separación por montones de distintos contenidos. Hasta ahora aún no ha aparecido un procedimiento unitario optimizado.

Recientemente hemos iniciado diversos estudios conducentes a la creación de sistemas mixtos de escoria de acero, hormigón de demolición machacado y residuos cerámicos para diversas aplicaciones constructivas de bajo coste.

5. RESUMEN DE NUEVOS MATERIALES CON MATERIALES SECUNDARIOS

Tabla 3. Resumen de nuevos materiales con materiales secundarios

Material Secundario	Diques y Terraplenes	Subbases	Hormigón	Otros
Escoria de incineración de residuos sólidos urbanos.	X	X		
Ceniza volante de centrales térmicas de carbón			X	- Industria cemento - Áridos artificiales
Escoria de obtención de Fósforo (Si O ₃ C _a)		X	X	
Escoria de horno alto		X		- Industria cemento
RCD		X	X	

Todos ellos en cantidades de varios millones de toneladas por año en varios países europeos. Como prácticas menos difundidas pero existentes tenemos: Residuos de diversas minerías, fosfogyps de fábricas de fertilizantes, lodos de dragados, lodos de depuradora de aguas, recuperación de ladrillos, metales (acero, zinc, aluminio, cobre, plomo). El asfalto se recicla prácticamente un 100% en nuevo asfalto, procesado in situ o en central.

6. LA LIXIVIACIÓN DE LOS NUEVOS MATERIALES CON MATERIALES SECUNDARIOS

Los agregados de hormigón machacado y cerámica en los que solo hayan intervenido materiales primarios pueden considerarse como materiales primarios desde el punto de vista de la lixiviación Sin embargo la presencia de sulfatos podrá llevar a clasificarlos en categoría especial. Los sulfatos pueden eliminarse por lavado en la mayoría de casos.

Deben controlarse los lixiviados orgánicos en aquellos casos en que los agregados procedan de capas de rodadura de carreteras.

Los residuos que solo se utilicen con materiales ligados (p.e. en hormigones) deberán ser sometidos a los tests de lixiviación de cada país. Nuestra experiencia nos lleva a recomendar el Tank Leaching Test holandés y para aquellos que se usen sueltos el Column Test. Algunos residuos como la escoria de incineradora de residuos sólidos urbanos solo se usarán con medidas protectoras (capas impermeables).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL DE LIMA, L.; Hormigones con escorias de horno eléctrico como árido (1999), Tesis doctoral U.P.C., Barcelona (España).
- BARRA, M.; SOLÉ, M.; VALLS, S.; VAZQUEZ, E.; Study of the Potential Expansivity of Steels Slag for Their Use as Agregate in Concrete (2000) International Seminar on Recycled Concrete, Niigata Univ. and Japan Concrete Institute (JCI), Niigata (Japan) 29 Septiembre 2000, Proceedings p. 87-106.
- BARRA, M.; VAZQUEZ, E.; Properties of Concretes with Recycled Aggregates: Influence of Properties of the Aggregates and Their Interpretation (1998), International Symposium on Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate, London, U.K. 11-12 Noviembre 1998, Proceedings p. 19-30.
- BARRA, M.; VAZQUEZ, E.; The influence of Retained Moisture in Agregates from Recycling on the Properties of New Hardened Concrete (1996); Waste Manegement, Vol 16, nº 1-3, p. 113-118, Elsevier, Great Britain.
- HENDRIKS CH, F.; The Building Cycle (2000), TU. Delft, Aeneas tech. publishers, Holanda.
- HENDRIKS CH, F.; Durable and Sutainable Construction Materials (2000), TU Delft, Aeneas tech. publishers, Holanda.
- MOTZ, H.; GEISELER, J.; Products of Steel Slags (2000); Waste Materials in Construction, Harrogate, England 1-2 Junio 2001, Proceedings p. 207-220
- VAZQUEZ, E., Recycling of Aggregates in Spain (2000); International Workshop on Recycled Concrete, J:SPS 76 Committee on Construction Materials, Tokyo 26-09-2000, Proceedings p. 27-42.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**AGREGADOS RECICLADOS DE ALVENARIA E DE CONCRETO,
CONTRIBUEM OU NÃO PARA A MELHORIA DA
DURABILIDADE DOS NOVOS CONCRETOS ?**

LEVY, Salomon M. (1); HELENE, Paulo R.L. (2)

- (1) Doutorando Pesquisador da Universidade de São Paulo. salomon.levy@pcc.usp.br. Diretor do Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia do Centro universitário Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo salomon.levy@uninove.br
- (2) Prof. Titular, Universidade de São Paulo PCC.USP. São Paulo,. Brasil. helene@pcc.usp.br

Palavras-chave: Durabilidade, agregado reciclados, penetração de cloretos

RESUMO

Analisa-se a influência exercida por um teor crescente de agregados reciclados, na penetração de íons Cl^- no novo concreto. Para isto foram preparados 13 famílias de concreto sendo uma de referência, produzida exclusivamente com agregados naturais e outras 12 produzidas com 4 diferentes agregados reciclados, utilizando-se teores de 20%;50%;100% de cada vez. Os resultados pontuais foram utilizados para construir diagramas de dosagem, os quais possibilitaram analisar criteriosamente diferentes classes de concreto de 20, 30, e 40 MPa. A medida que se aumentou o teor de agregados reciclados miúdos, os resultados encontrados indicaram um crescimento do teor de Cl^- , detectado na camada de 0-1 cm, todavia, quando foram substituídos os agregados graúdos naturais, por reciclados de alvenaria e concreto, o comportamento foi distinto, passando por um máximo quando a substituição foi de 50%. Quando foram substituídos 20% dos agregados naturais, independentemente da fração granulométrica do agregado, não foram constatadas alterações significativas em relação ao concreto de referência.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo é parte de uma tese de doutorado cuja parte experimental foi desenvolvida nos laboratórios do DPqDCC do PCC/USP e do IPT, cujo objetivo é contribuir com o estudo da durabilidade de concretos produzidos com resíduos de alvenaria e de concreto reciclado. Segundo o comitê 201 do ACI, durabilidade do concreto de cimento Portland é definida como a sua capacidade de resistir à ação das intempéries, ataques químicos, abrasão ou qualquer outro processo de deterioração; isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização quando exposto ao seu meio ambiente.

Portanto, um estudo completo sobre durabilidade não deve se restringir a análise de uma única propriedade, uma vez que o meio ambiente terá determinada característica de agressividade preponderante, ou seja, uma estrutura edificada a beira mar só será durável se for resistente a ação de íons Cl^- e não necessariamente resistente à carbonatação, resistividade e tiver baixa absorção de água por imersão. Cientes de que seria praticamente impossível abordar todas as grandezas que caracterizam a durabilidade de um concreto em diferentes ambientes, optou-se neste trabalho analisar apenas a facilidade de penetração de Cl^- e sua relação como o consumo de cimento para diferentes classes de concreto.

2. OBJETIVOS

Objetivos gerais: os resultados obtidos neste trabalho, constituem parte de uma pesquisa de âmbito muito maior, a qual é a parte experimental de uma Tese de doutorado que foi desenvolvida no laboratórios de materiais de construção do PCC.USP e do IPT, cujo objetivo é analisar tecnologicamente e cientificamente a influência que o acréscimo do teor de agregados reciclados de alvenaria e de concreto exercem na durabilidade de concretos.

Objetivos específicos: como citado anteriormente, a durabilidade do concreto não pode ser avaliada através de uma única característica, todavia se torna impossível em um único artigo técnico avaliar todas as características inerentes a durabilidade de um concreto, isto posto, neste artigo serão abordados os aspectos relativos à influência do teor crescente de agregados reciclados de alvenaria e de concreto, sobre à difusão de cloretos nas camadas de 0-1, 0-2, e 0-3 cm de concretos com resistência 20, 30 e 40 MPa.

3. MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

Com o intuito de reduzir a influência que poderia ser atribuída à variabilidade dos agregados reciclados, optou-se por prepará-los em laboratório mesmo estando-se convicto de que em qualquer obra esta homogeneidade dos resíduos jamais será obtida, tal procedimento foi adotado com o intuito de não dificultar a interpretação dos resultados.

3.1. Materiais

O critério para escolha dos materiais utilizados foi a facilidade de obtenção na praça de São Paulo., assim sendo, foram selecionados para esta finalidade os seguintes materiais:

3.1.1. Aglomerantes

Cimento Portland Composto Tipo CP II-E- 32

3.1.2. Agregados

Naturais¹

- Miúdos: areia média de rio lavada, oriunda da região de Jacareí
- Graúdos: granito oriundo da Serra da Cantareira SP

Reciclados

- De concreto

Os resíduos de concreto utilizados foram obtidos através de um concreto moldado em laboratório cujas características são:

traço 1:6.0, teor de argamassa = 56%, a/c \Rightarrow 0,66.

Neste trabalho tais resíduos serão denominados por RCG² e RCM³

- De alvenaria

Os resíduos de alvenaria foram obtidos de paredes revestidas em uma de suas faces, cujas características são indicadas a seguir:

Elementos de vedação, blocos cerâmicos sem função estrutural fabricados com argila da região de Itú (SP) preparada com as seguintes proporções:

Taguá (argila sem beneficiamento com alto teor de óxido de ferro)	± 80%
Varvito (argila terciária muito compacta, com altos teores de sílica e feldspato)	± 15%
Chamota (reaproveitamento de blocos quebrados, material já queimado)	± 5%

Argamassa de assentamento e revestimento, argamassa industrializada, fabricada pela Serrana, composta por calcário calcítico e dolomítico, cimento Portland mais aditivos.

Passaram a ser denominados por RAG⁴ e RAM⁵.

¹ As características individuais dos agregados são apresentadas na **Tabela 2**

² (Reciclado de Concreto Graúdo)

³ (Reciclado de Concreto Miúdo)

⁴ Reciclado de Alvenaria Graúdo

Para obtenção dos agregados reciclados de concreto e de alvenaria, o material foi passado num britador de mandíbulas e o produto obtido, posteriormente submetido a operação de peneiramento. As frações correspondentes a agregados miúdos e graúdos, após sua caracterização, foram utilizadas na produção de 12 famílias de concreto contendo teores crescente destes agregados, sempre na condição superfície seca ao ar.

Seis destas famílias continham exclusivamente resíduos minerais proveniente de alvenaria e outras seis, resíduos minerais proveniente de concreto.

Os dados obtidos, foram comparados àqueles obtidos para uma 13ª família de concreto produzida exclusivamente com agregados naturais.

3.1.3. Caracterização dos materiais

Na **Tabela 1**, estão indicadas as características individuais dos agregados naturais e reciclados usados no experimento, assim como as normas utilizadas para determinação destas características.

Tabela 1 Características dos agregados utilizados na preparação das 13 famílias de concreto

Características dos materiais	Unid	Valores obtidos para os agregados grudos e miúdos									Metodologia de Ensaio
		Agregados Naturais			Agregados Alvenaria			Agregados Concreto			
		Areia	B1	B2	Areia	B1	B2	Areia	B1	B2	
Modulo de finura	*	2,60	6,40	7,70	3,13	6,64	7,65	3,54	7,68	6,94	NBR 7217
Massa específica aparente	Kg/dm ³	1,375	1,430	1,410	1,317	0,984	0,987	1,340	1,208	1,285	NBR 7251
Absorção	%	*	0,8	0,8	7,9	13,0	12,4	10,35	5,6	3,7	NBR 9937
Pulverulentos	%	1,85	0,54	0,55	2,4	4,1	2,3	0,6	0,3	0,2	NBR 7219
Impureza orgânica	ppm	< 300	*	*	*	*	*	*	*	*	NBR7220

3.2. Realização do experimento

Para realização do experimento e possibilidade de interpretação dos resultados de uma forma tecnicamente correta, foram adotadas as considerações indicadas a seguir:

3.2.1. Escolha do traço

Três traços foram utilizados, rico, normal e pobre (1:3, 1:4,5 e 1:6) com consistência fixa de 70 | 10 mm.

⁵ Reciclado de Alvenaria Miúdo

3.2.2. Moldagem dos corpos de prova:

Cilíndricos 10x 20 cm 4 por traço a ser ensaiado.

3.2.3. Idade dos ensaios:

Ensaio aos 28, 91 e 182 dias

3.2.4. Condições de cura:

14 dias, em câmara úmida, posteriormente em ambiente do laboratório até a data do ensaio.

3.2.5. Produção dos concretos a serem ensaiados

Na Tabela 2 apresenta-se a composição dos agregados utilizados na produção das famílias de concreto do experimento.

Tabela 2 Composição dos agregados utilizados, em massa, na preparação dos concretos.

FAMÍLIA DE CONCRETO	COMPOSIÇÃO DO AGREGADO UTILIZADO
1ª família Referência	Agregados graúdos e miúdos: 100% naturais
2ª família RCG 20%-80%	Agregado graúdo: 20% reciclados de concreto + 80% naturais Agregado miúdo: 100% natural
3ª família RCG 50%-50%	Agregado graúdo: 50% reciclados de concreto + 50% naturais Agregado miúdo: 100% natural
4ª família RCG 100%-0%	Agregado graúdo: 100% reciclados de concreto + 0% naturais Agregado miúdo: 100% natural
5ª família RCM 20%-80%	Agregado graúdo: 100% natural Agregado miúdo: 20% reciclados de concreto + 80% naturais
6ª família RCM 50%-50%	Agregado graúdo: 100% natural Agregado miúdo: 50% reciclados de concreto + 50% naturais
7ª família RCM 100%-0%	Agregado graúdo: 100% natural Agregado miúdo: 100% reciclados de concreto + 0% naturais
8ª família RAG 20%-80%	Agregado graúdo: 20% reciclados de alvenaria + 80% naturais Agregado miúdo: 100% natural
9ª família RAG 50%-50%	Agregado graúdo: 50% reciclados de alvenaria + 50% naturais Agregado miúdo: 100% natural
10ª família RAG 100%-0%	Agregado graúdo: 100% reciclados de alvenaria + 0% naturais Agregado miúdo: 100% natural
11ª família RAM 20%-80%	Agregado graúdo: 100% natural Agregado miúdo: 20% reciclados de alvenaria + 80% naturais
12ª família RAM 50%-50%	Agregado graúdo: 100% natural Agregado miúdo: 50% reciclados de alvenaria + 50% naturais
13ª família RAM 100%-0%	Agregado graúdo: 100% natural Agregado miúdo: 100% reciclados de alvenaria + 0% naturais

3.2.6. Propriedades pesquisadas:

As propriedades selecionadas e investigadas neste estudo foram as seguintes:

a) No estado fresco

Consistência: mantida fixa = 70 ± 10 mm para todos as famílias de concreto produzidas e medida de acordo com as normas preconizadas na NBR 09606.

Consumo: calculado através da equação

$$C = \frac{\gamma}{1 + m + a/c} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

γ = massa específica do concreto fresco (kg/m^3)

m = Traço do concreto

a/c = relação água cimento

b) No estado endurecido

perfil de cloretos: não foram encontradas normas nacionais sobre o assunto, os procedimentos para coleta e preparo das amostras foram aqueles preconizados na norma ASTM-C- 1152. As amostras foram coletadas nas profundidades de 1, 2 e 3 cm; com o auxílio de uma furadeira de impacto, a cada nova profundidade utilizou-se uma broca de diâmetro inferior, para evitar contaminação entre camadas. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório de química do IPT que realizou as análises quantitativas. Os corpos de prova utilizados neste ensaio foram cubos com 10 cm de aresta, levados à câmara salina após completarem 60 dias, sendo mantidos na câmara por 75 dias sob ação de uma solução de cloreto de sódio com concentração de 5%, após este período foram retirados para coleta de amostras, da forma mencionada anteriormente e ilustradas na Figura 1



Figura 1 Amostras coletadas, determinação do teor de cloretos nas camadas de 0-1, 1-2 e 2-3 cm

4. ANALISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir de resultados pontuais obtidos para os concretos ensaiados, foram construídos os diagramas de dosagem e destes diagramas foram extraídos as equações que representam os modelos matemáticos da lei de Abrams, da Lei de Lyse e da Lei de Molinari.

As curvas de tendência apresentadas na Figura 3, foram construídas a partir de valores calculados através destes modelos. Isto significa que, os concretos de 20, 30 e 40 MPa não foram efetivamente moldados.

A partir das equações exponenciais determinadas para a lei de Abrams, foram calculados os valores da relação a/c que permitirão a moldagem de concretos de resistências de 20,30 e 40 MPa.

Para complementar este trabalho, foram construídos diagramas de dosagem que relacionaram a concentração de cloretos nas camadas de 0 a 3 cm com a relação a/c , que a título de exemplo são apresentados na Figura 4 para o concreto moldado com agregados RAG.

Determinado o valor de a/c , foram calculados os valores esperados para concentração de cloretos nas diferentes profundidades e assim foi possível construir os diagramas da Figura 4.

4.1. Diagrama de dosagem teor de cloretos x a/c.

Na série de diagramas da Figura 2, relacionou-se o teor de cloretos detectados em camadas de 0 a 3 cm com a relação a/c, a partir dos resultados obtidos no laboratório para os traços ensaiados. A título de exemplo apresenta-se apenas os diagramas dos concretos produzidos com resíduos de alvenaria

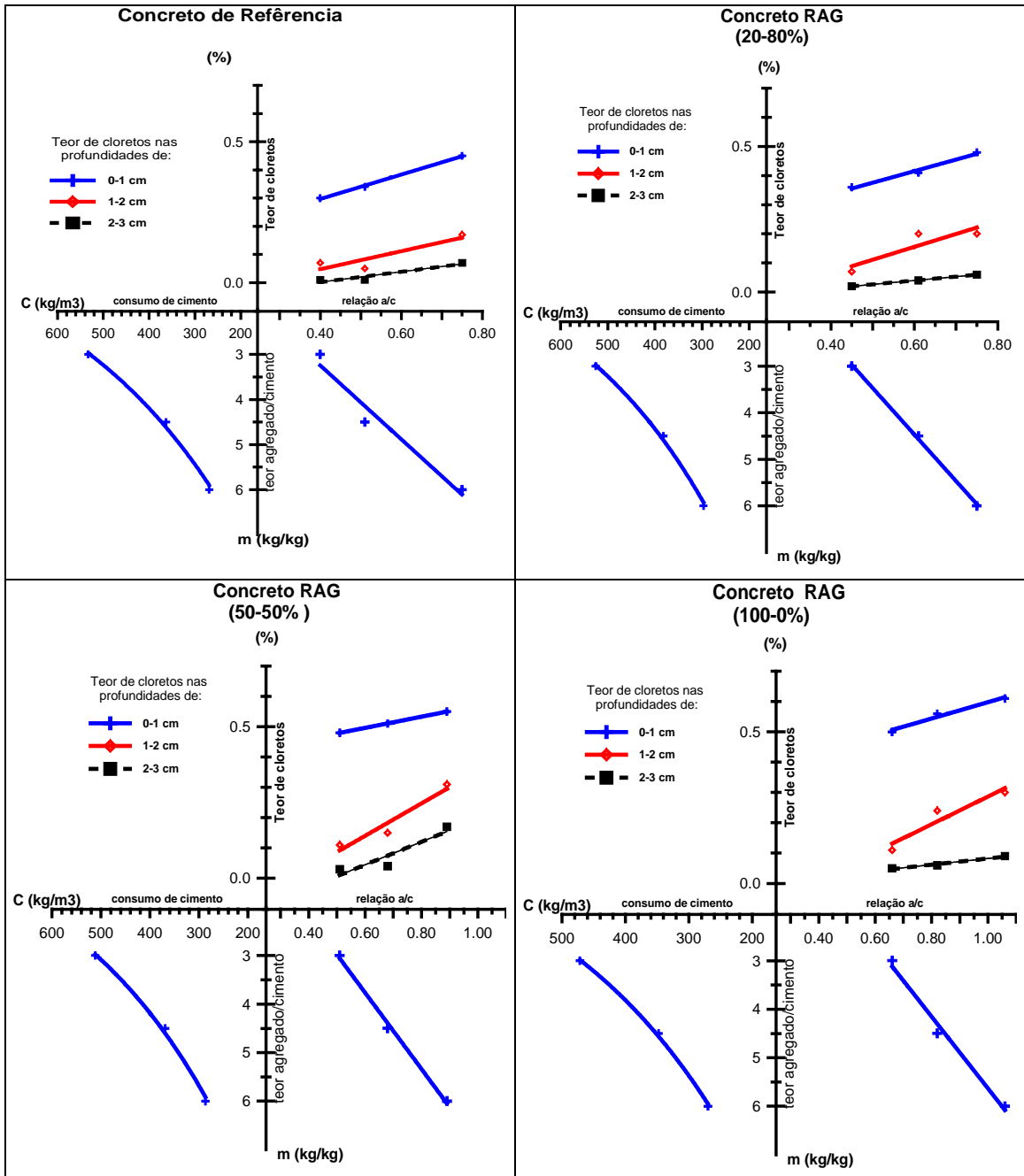
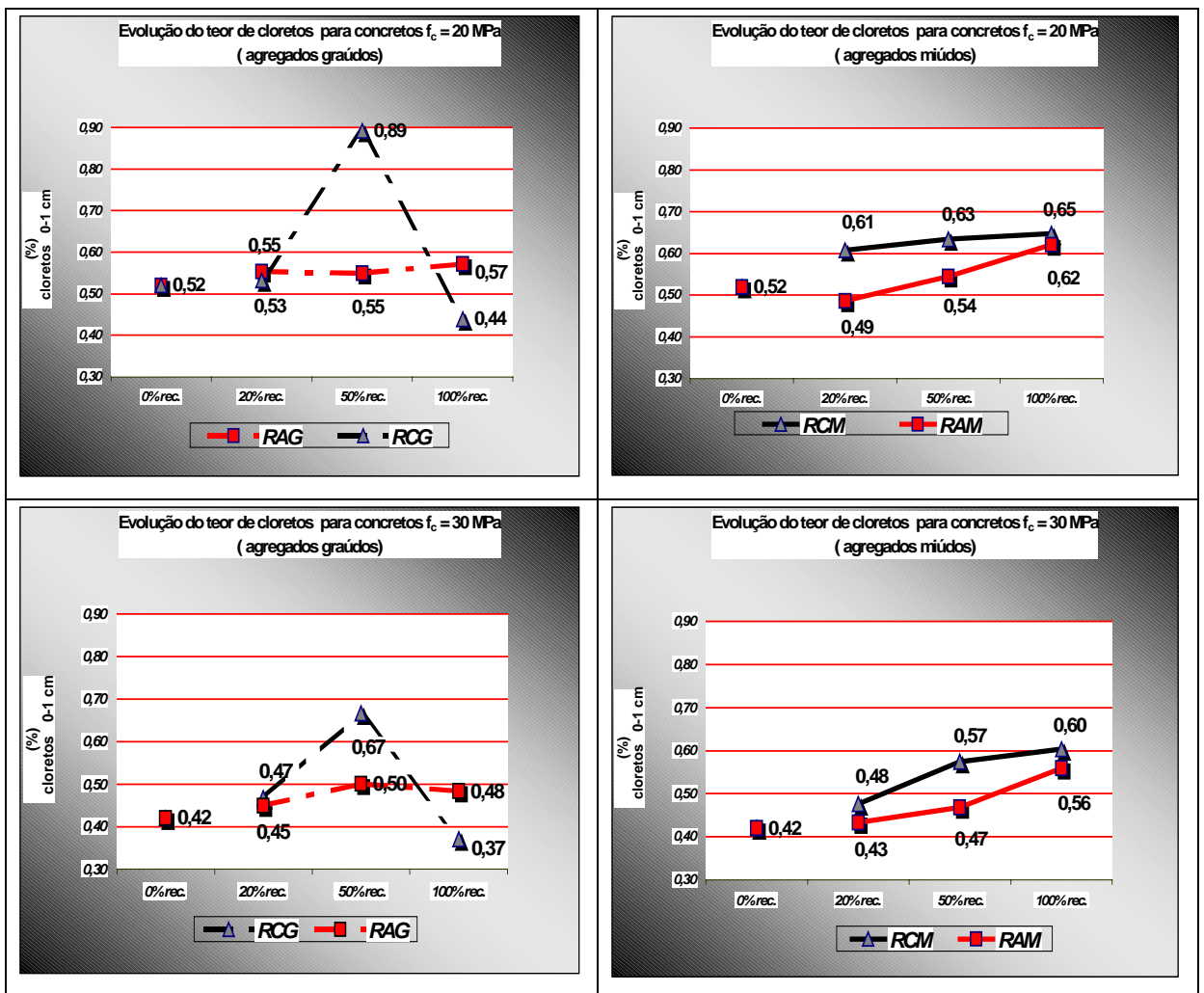


Figura 2 Diagramas da Penetração de cloretos concreto de Referência e concretos RAG

4.2. Curvas de tendência em função do teor de material reciclado.

Através das equações dos modelos matemáticos representados nos diagramas de penetração de cloretos $X_{a/c}$, calcularam-se as diversas relações a/c para obtenção de concretos com resistência 20, 30 e 40 MPa respectivamente, determinados tais valores, foi possível calcular as respectivas concentrações de cloretos nas profundidade de 0 a 3 cm e desta forma construir os diagramas da Figura 3. O mérito desta metodologia consiste na possibilidade de prever o comportamento que um concreto com resistência previamente especificada, apresentaria para a propriedade que está sendo estudada, sem a necessidade de prepará-lo e de ensaiá-lo em laboratório.



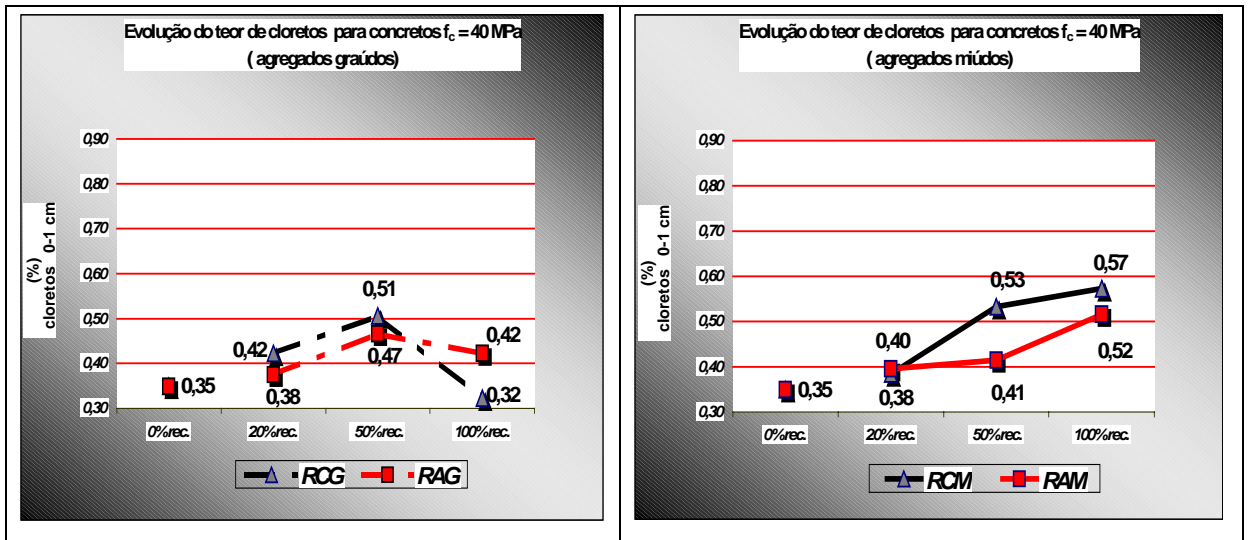
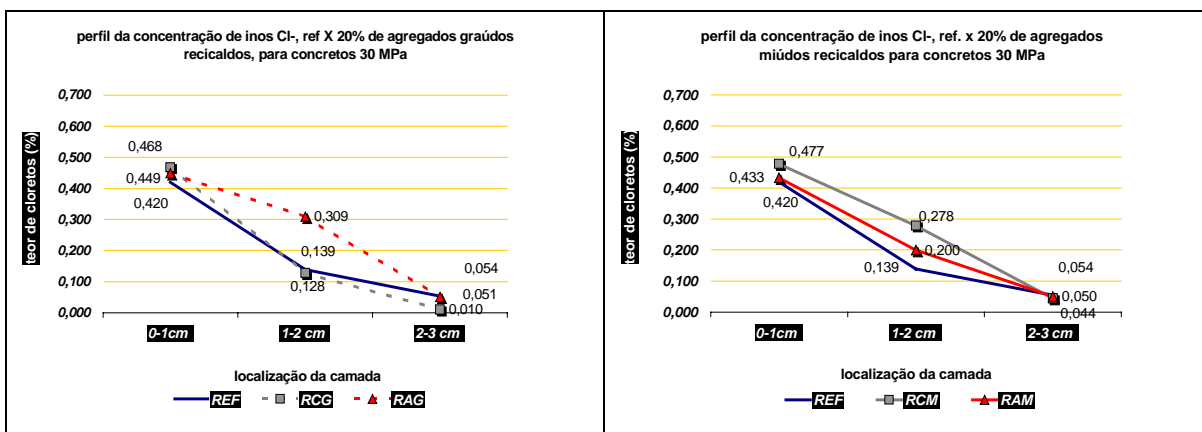


Figura 3 Curvas de tendência da variação do teor de cloretos encontrados na camada com espessura de 0- 1 cm para concretos de 20, 30 e 40 MPa. (em relação ao concreto)

4.3. Perfil da concentração de cloretos para concretos de 30 MPa, ref X moldados com agregados reciclados

Na seqüência do trabalho foram construídos os diagramas a que mostram a evolução do perfil de concentração dos cloretos para concretos de 30 MPa em função das diversas concentrações de agregados reciclados utilizados.



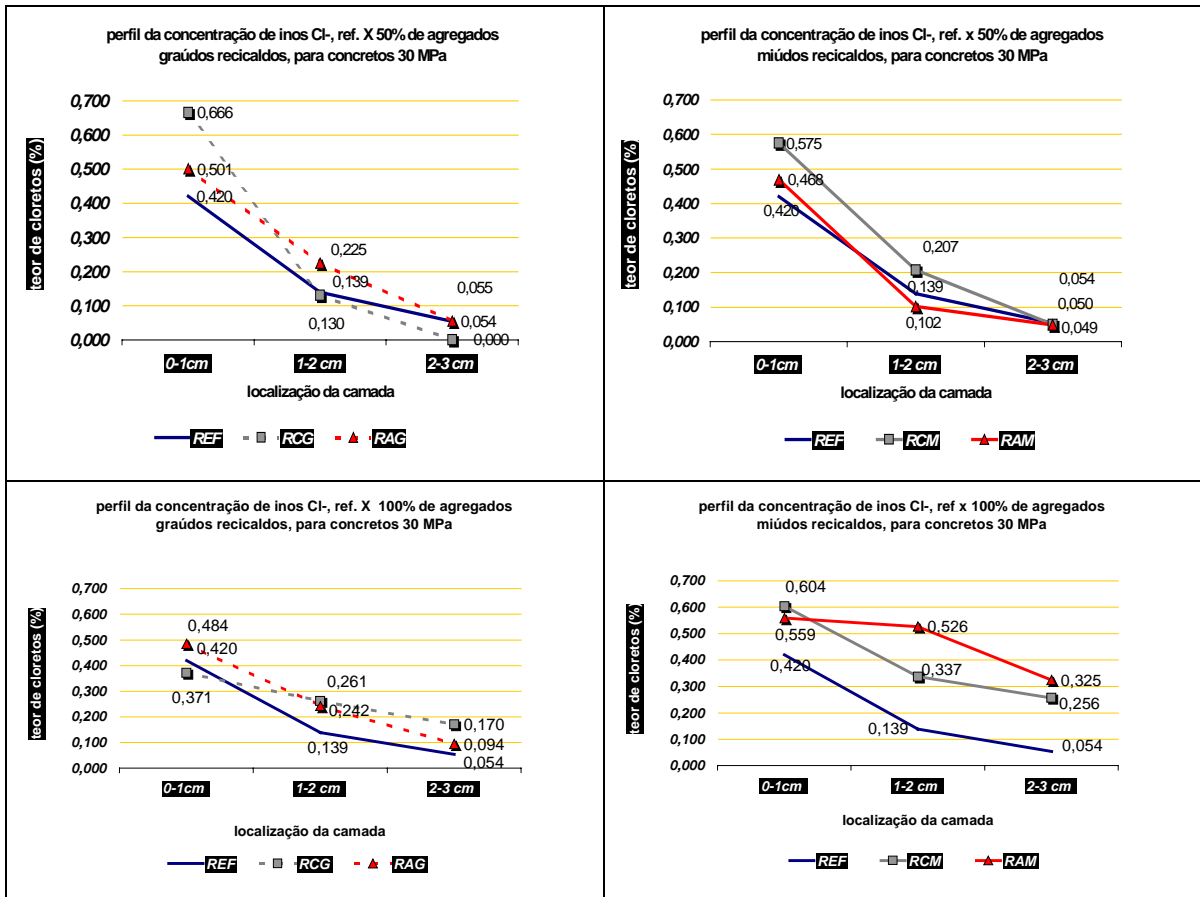


Figura 4 Perfil do teor de cloretos concreto de ref. X concreto com reciclados miúdos de 0 a 3 cm. (em relação ao concreto)

4.4. Comparação entre valores obtidos e os estabelecidos por normas Nacionais e Internacionais.

Da bibliografia consultada foi extraída a Tabela 3, na qual são apresentados os valores tolerados pelas diversas Normas nacionais e Internacionais.

Os valores apresentados na Figura 3 e na Figura 4, são em relação à amostra (concreto) se transformados em relação ao cimento serão cerca de 10 x maiores, Comparando-se os limites apresentados nesta Tabela, com os valores calculados, percebe-se que, nas condições do experimento, nenhum dos concretos ensaiados atenderia às condições preconizadas por estas normas.

Evidentemente tal fato não significa que os concretos ensaiados devam ter algum tipo de restrição quanto a sua durabilidade mas que as condições do ensaio acelerado foram extremamente severas em relação às existentes na Natureza.

Tabela 3. Limite de normas para teor total de cloretos (HELENE, 1993).

País	Norma	Limite máximo de Cl ⁻ para		Limite referente
		Concreto armado	Concreto protendido	
Brasil	NBR 6118	0,05%	-	Água de amassamento
	NBR 7197	-	0,05%	
	NBR 9062	-	0,05%	
Espanha	EH-88	0,40%	-	Cimento
	EP-80	-	0,10%	
EUA	ACI 222	≤ 0,20%	≤ 0,08%	Cimento
	ACI201	≤ 0,20%	≤ 0,08%	
	ACI 318	≤ 0,30% amb. Normal ≤ 0,16 amb. Cl ⁻ ≤ 1,00% amb. Seco	≤ 0,06%	
Inglaterra	CP-110	≤ 0,35% 95%UR ≤ 0,50% 100% UR	≤ 0,06% 100%UR	Cimento
Japão	JSCE SP-2	≤ 0,60 kg/m ³	≤ 0,30 kg/m ³	Concreto

REDDY N.; ONYEJEKWE O. O. (2000) realizaram um trabalho com a finalidade de estabelecer um modelo matemático para estudar a difusão de cloretos no concreto e comparam resultados experimentais com resultados teóricos obtidos através da aplicação do modelo.

Os resultados por eles obtidos para um concreto exposto em laboratório a um ambiente reproduzindo as condições cíclicas da maré na praia de Aberdeen foram muito similares as obtidas no experimento realizado por estes pesquisadores em torno de 0,6% em relação ao concreto.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados pode-se concluir que:

Em relação à penetração de cloretos, a durabilidade dos concretos de resistência de 30 MPa, não é afetada pela utilização de agregados reciclados de alvenaria ou de concreto, quando os mesmos são empregados na substituição de agregados naturais até o limite de 50 %.

Especificada a resistência para um concreto, a utilização de agregados miúdos reciclados, sejam eles de alvenaria ou de concreto, conduz a um teor crescente de cloretos em qualquer profundidade.

Na camada de 1 a 2 cm, os concretos de 30 MPa apresentaram o melhor desempenho à difusão de cloretos, quando substituiu-se 50 % de agregado miúdo natural por agregado RAM (0,102%). Esse fenômeno não constitui uma observação isolada, ele se repetiu em diversas das propriedades estudadas na

tese de doutorado deste pesquisador. A razão está no fato de se ter sido obtida uma distribuição granulométrica ideal como a utilização deste material (LEVY HELENE – 2000).

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NBR 7217 Agregados – Determinação da composição Granulométrica 1987
- NBR 7219 Agregados – Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos 1987
- NBR 7220 Agregados – Determinação de Impurezas Orgânicas Húmicas em Agregado Miúdo 1987
- NBR 9778 Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica 1987
- NBR 9778 Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica 1987
- NBR 9833 Concreto fresco - determinação da massa específica e do teor de ar aprisionado pelo método gravimétrico * Método de ensaio* 1987.
- NBR 9937 Agregados – Determinação da Absorção e da Massa Específica em Agregado Graúdo 1987
- HELENE, P. Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado. São Paulo, 1993. 231p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- LEVY, S.; & HELENE, P. Durabilidade de concretos produzidos com resíduos minerais de construção civil in: III Seminário Desenvolvimento sustentável e reciclagem na construção Civil : Práticas Recomendadas junho de 2000, São Paulo SP, 132p.
- REDDY N.;& ONYEJEKWE O. O. A numerical approach to the study of Chloride ion penetration into concrete, Magazine of Concrete Research 52 No. 4 Aug. 2000, p243-250.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo que financiou a parte experimental desta pesquisa para Estudo da Durabilidade de Concretos Produzidos com Resíduos Minerais Reciclados através do processo 99-01444-0, à HOLDERCIM e à ENGEMIX pelo apoio, incentivo e valiosas doações, e especialmente ao Químico do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, Valdecir Quarcioni pela sua valiosa e fundamental colaboração na realização das inúmeras análises realizadas.

TEMA I
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL -
COLETA E GERENCIAMENTO



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

AS IMPLICAÇÕES DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA LIMPEZA PÚBLICA

GIANSANTE, A.E. (1); LEVY, S. M.(2)

- (1) Engenheiro Civil, mestre e doutor em recursos hídricos e saneamento ambiental, consultor, professor da UNINOVE, professor visitante da Universidade de Metz, França, autor de artigos técnicos e de livro. R. Basílio da Cunha, 70 São Paulo, SP. CEP: 01544-000. email: agisante@uol.com.br.
- (2) Doutorando Pesquisador no Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, PCC-EPUSP. email salomon.levy@pcc.usp.br.
Diretor do Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia da UNINOVE
salomon.levy@uninove.br

Palavras-chave: resíduos, ambiente, reutilização.

RESUMO

A limpeza pública é definida como sendo o conjunto de procedimentos que tem por objetivo dar um destino adequado aos resíduos sólidos gerados pelas mais diversas atividades humanas no ambiente urbano. Dentre essas atividades, inclui-se a construção civil, sejam obras residenciais, públicas ou de outro caráter. Este artigo tem por objetivo apontar, mesmo que ainda qualitativamente, quais conseqüências têm a geração de resíduos da construção civil nas diversas etapas que compõem a limpeza pública.

A limpeza pública, de responsabilidade das prefeituras municipais, é constituída das seguintes etapas: acondicionamento, de responsabilidade do agente gerador, seja este um domicílio ou obra, coleta, transferência, que ocorre nas maiores cidades, e destino final. Essas etapas para os resíduos da construção civil se dão de forma diversa, pois o fato de acomodá-los em caçamba condiciona as etapas seqüentes. Assim, não se fala em coleta destas a não ser por caminhões adequadamente equipados para removê-las. A reciclagem dos resíduos de obras deve necessariamente começar no próprio local onde são gerados, dado que são considerados como refugo pelas usinas de compostagem, inadequam-se à incineração e ocupam espaço considerável nos aterros sanitários ou aqueles poucos destinados especificamente a receber este tipo de dejetos.

Aqui se propõe que sejam desenvolvidas técnicas de reciclagem desses resíduos no próprio local onde são gerados ou, então, em outros locais desde que estes sejam adequadamente transportados e tratados. Essas proposições visam enquadrar as atividades da construção civil dentro das proposições do desenvolvimento sustentável.

1. INTRODUÇÃO

A limpeza pública é definida como sendo o conjunto de procedimentos que tem por objetivo dar um destino adequado aos resíduos sólidos gerados pelas mais diversas atividades humanas no ambiente urbano. Dentre essas atividades, inclui-se a construção civil, sejam obras residenciais, públicas ou de outro caráter. Este artigo tem por objetivo apontar, mesmo que ainda qualitativamente, quais conseqüências têm a geração de resíduos da construção civil nas diversas etapas que compõem a limpeza pública.

2. REVISÃO CONCEITUAL

A limpeza pública, de responsabilidade das prefeituras municipais, é constituída das seguintes etapas: acondicionamento, de responsabilidade do agente gerador, seja este um domicílio ou obra, coleta, transferência, que ocorre nas maiores cidades, e destino final.

O acondicionamento é o ato simples de colocar o resíduo na embalagem adequada, sendo esta saco plástico, latão ou qualquer outra forma de container aceito pelo órgão público responsável pela limpeza pública. A embalagem deve garantir a estanqueidade e a opacidade para que o resíduo não vaze ou não seja visto pela população, garantindo maior conforto estético e qualidade ambiental. Os resíduos da construção civil pela sua tipicidade, restos de materiais como tijolos, massas de cimento e pedra, vidros, metais, madeiras, louças, condutos etc. não se adequam geralmente a serem embaladas em saco plástico de forma que raramente são aí colocados e, assim, aceitos pela coleta pública. Normalmente o acondicionamento se dá em caçambas, utilizadas desde obras residenciais simples até outras maiores. Dessa forma, exceto para as pequenas obras de reforma residencial, que geram uma quantidade muito pequena de resíduos, o acondicionamento dos resíduos da construção civil é diferente daquele domiciliar. O peso e a forma dos resíduos das obras e a pouca resistência dos sacos plásticos são fatores determinantes para que se utilize caçambas.

O acondicionamento do lixo, por ser a primeira etapa da limpeza pública, costuma condicionar as demais seqüentes: coleta, transferência e destino final. Para os resíduos domiciliares, essas etapas são feitas cumpridas respectivamente por: caminhões coletores e compactadores, e, em seguida, grandes carretas. Como destino final encontra-se mais comumente tratamento, efetuado nas usinas de compostagem e reciclagem de materiais, cujo nível de rejeitos está em torno de 50%, e mesmo a incineração, cujos objetivos são reduzir a massa, em cerca de 85%, e o volume dos resíduos, em cerca de 95%. Finalmente, o aterro sanitário como “fim-de-linha” de qualquer resíduo, seja este refugio de usina de reciclagem, “clinquer” ou sobras de incineração, dentre outros, que é considerado disposição adequada e final.

Essas etapas para os resíduos da construção civil se dão de forma diversa. Certamente o fato de acondicioná-los em caçamba condiciona as etapas seqüentes. Assim, não se fala em coleta destas a não ser por caminhões adequadamente equipados para removê-las. Da mesma forma, não se costuma fazer a transferência dessas caçambas para outra maiores, ao levá-los para o destino final. Enfim, este ocorre em aterros sanitários ou específicos para receber resíduos da construção civil, pois pelo seu baixo poder calorífico e grande massa não se destina esse tipo de resíduo para a incineração. Não é feita a reciclagem desses materiais nas plantas mais comuns de usinas de compostagem, pois estas dedicam-se mais bioestabilizar a matéria orgânica presente em restos de alimentos e em recuperar vidros, metais, plásticos e papéis. Assim, os resíduos da construção civil são geralmente considerados como “refugo” nas usinas de compostagem e reciclagem de materiais, sobretudo as partes compostas por massas de cimento e pedaços de madeira.

3. CONCLUSÕES

Pelas características descritas, a reciclagem dos resíduos de obras deve necessariamente começar no próprio local onde são gerados, dado que são considerados como refugo pelas usinas de compostagem, inadequam-se à incineração e ocupam espaço considerável nos aterros sanitários ou aqueles poucos destinados especificamente a receber este tipo de dejetos.

A dimensão do problema pode ser avaliada pelos dados que seguem. De acordo com TCHOBANOGLIOUS (1993), os resíduos da construção e da demolição variam de 8 a 20% do total gerado nas cidades, representando, portanto, parcela significativa no total que a limpeza pública deve dar conta. Utilizando essa faixa, para a cidade de São Paulo seriam geradas entre 1.000 e 2.400 toneladas por dia. Além disso, dados da agência ambiental holandesa (Kiely, 1997) indicam que são gerados cerca de 2.500 kg de resíduos da construção por ano por trabalhador, valor bastante expressivo.

Especificamente para o município de São Paulo a dimensão do problema é enorme. No período de outubro de 1997 a outubro de 1998, foram licenciados¹ 5.683.865 m² de construção e admitindo que cada m² construído gera 0,10 m³ de resíduos, valor compatível com os provenientes da literatura mencionada, ter-se-ia, então, um volume total de 568.386 m³, o que corresponderia a 2.000 m³ diários de resíduos provenientes só das obras licenciadas. Já as obras licenciadas no município de São Paulo de outubro de 1999 a outubro de 2000 5.153.836 m², correspondendo a 515.384 m³ no período.²

Indiscutivelmente a solução para o problema dos resíduos sólidos de qualquer natureza passa pela redução de sua geração no próprio local onde são produzidos, mais especificamente ainda para aqueles provenientes de obras civis, visto que ainda muito pouco destes são reciclados por usinas, ou ainda pela sua reutilização no próprio canteiro de obras. Poucas experiências brasileiras mostram-se suficientemente consolidadas para possibilitar afirmar

¹ Revista “A Construção em São Paulo” nº 2653 PINI dezembro 1998 pg. 119

² Comitê Técnico CT 206 Meio Ambiente in **IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil**- São Paulo SP junho 1999

que está solucionada a reciclagem dos resíduos da construção civil a nível de limpeza pública, exceto a existente em Belo Horizonte, onde há centros de recepção espalhados em diversos bairros. Todo esse quadro faz com que o destino usual seja o aterro sanitário, no melhor dos casos, ou mais comumente em “lixões” já que maioria dos municípios tem aí o destino dos seus resíduos. Qualquer diminuição do volume gerado de resíduos nas obras, seja por uma gestão mais aprimorada, seja pela sua reutilização no próprio canteiro, já ajuda a prorrogar a vida útil de aterros, bem como minimizar o dano ambiental causado pelos terríveis “lixões”.

Uma solução do grande problema que se depara a construção civil em relação ao ambiente consiste na utilização de concreto com agregado reciclado. Esse uso dos resíduos na própria obra ou levados e beneficiados em outro local seria uma solução para alguns problemas bastante atuais nas grandes metrópoles, como a escassez de áreas para deposição de entulhos e elevados recursos gastos na desobstrução de córregos e vias públicas. Portanto, a realização dessa proposição proporcionaria elementos necessários à produção de concretos duráveis e a baixo custo, reaproveitando resíduos e se adequando à ótica do desenvolvimento sustentável, merecendo atenção.

Projetos tecnológicos desse porte, abordando especificamente a reciclagem na construção civil significam, no princípio, uma maior demanda de recursos financeiros, tendência que se repete em outros setores industriais, porém a longo prazo os benefícios resultantes dessas atitudes, voltadas para preservação das condições ambientais, são indiscutíveis, lembrando que inclusive a disponibilidade de locais para a disposição de entulho e resíduos das atividades industriais de diversas espécies e origens tem se tornado cada vez mais rara. Assim, sua minimização exige o urgente desenvolvimento de novas tecnologias como a proposta, sob pena de que as soluções tradicionais se tornem cada vez mais caras e complexas, como no município de São Paulo.

Finalmente, dentro do princípio de desenvolvimento sustentável, o aprimoramento de tecnologias consistentes e confiáveis de minimização de resíduos na construção também se refletirá na questão fundamental da extração de recursos minerais. Essa mineração se dá normalmente em áreas enormes, muito sujeitas a impactos ambientais significativos. Reduzir a demanda por esse recursos, também significa diminuir os respectivos impactos, o que sempre deve ser considerado.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

TCHOBANOGLIOUS, G. et alli **Environmental Engineering** McGraw-Hill, New York, 1985.

KIELY, G. **Environmental Engineering** McGraw-Hill, New York, 1996.

Revista **“A Construção em São Paulo”** nº 2653 PINI dezembro 1998 pg. 119

Comitê Técnico CT 206 Meio Ambiente, in **IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil-** São Paulo SP junho1999.

GIANSANTE, A.E. et alli **Meio Ambiente e Epidemiologia** Editora Jotace, São Paulo, 2000.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

ÂNGULO, Sérgio Cirelli (1); **ZORDAN**, Sérgio Edurado (2); **JOHN**, Vanderley Moacyr (3)

- (1) Doutorando Pesquisador no PCC - E-mail sergio.angulo@poli.usp.br
(2) Doutorando Pesquisador no PCC - E-mail sergio.zordan@poli.usp.br
(3) Prof. Dr., Universidade de São Paulo – PCC - E-mail John@poli.usp.br

PCC - Departamento Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica. EPUSP. Cx. Postal 61548. São Paulo-SP. CEP 05424-970.

Palavras-chave: reciclagem, resíduos, desenvolvimento sustentável, construção civil.

RESUMO

A reciclagem de resíduos pela indústria da construção civil vem se consolidando como uma prática importante para a sustentabilidade, seja atenuando o impacto ambiental gerado pelo setor ou reduzindo os custos. O processo de P&D de novos materiais reciclados precisa ser feito de forma cautelosa e criteriosa para garantir o sucesso destes produtos no mercado. Este artigo aborda os benefícios e os impactos que a reciclagem de resíduos podem gerar, além de analisar os principais resíduos reciclados atualmente pelo setor da construção civil. Discute critérios julgados como essenciais no processo de P&D de produtos reciclados, indicando diretrizes para o desenvolvimento de uma metodologia que direcione este processo.

1. BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS

No modelo atual de produção, os resíduos sempre são gerados seja para bens de consumo duráveis (edifícios, pontes e estradas) ou não-duráveis (embalagens descartáveis). Neste processo, a produção quase sempre utiliza matérias-primas não-renováveis de origem natural. Este modelo não apresentava problemas até recentemente, em razão da abundância de recursos naturais e menor quantidade de pessoas incorporadas a sociedade de consumo (JOHN, 1999; JOHN, 2000; CURWELL; COOPER, 1998; GÜNTHER, 2000).

Com a intensa industrialização, advento de novas tecnologias, crescimento populacional e aumento de pessoas em centros urbanos e diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos com um gerenciamento oneroso e complexo considerando-se volume e massa acumulados, principalmente após 1980. Os problemas se caracterizavam por escassez de área de deposição de resíduos causadas pela ocupação e valorização de áreas urbanas, altos custos sociais no gerenciamento de resíduos, problemas de saneamento público e contaminação ambiental (JOHN, 1999; JOHN, 2000; BRITO, 1999; GÜNTHER, 2000; PINTO, 1999).

Durante a ECO-92 e a definição da Agenda 21, houve destaque a necessidade urgente de se implementar um adequado sistema de gestão ambiental para os resíduos sólidos (GÜNTHER, 2000). Uma das formas de solução para os problemas gerados é a reciclagem de resíduos, em que a construção civil tem um grande potencial de utilização dos resíduos, uma vez que ela chega a consumir até 75% de recursos naturais (JOHN, 2000; LEVY, 1997; PINTO, 1999).

Na verdade, sabe-se que ações isoladas não irão solucionar os problemas advindos por este resíduo e que a indústria deve tentar fechar seu ciclo produtivo de tal forma que minimize a saída de resíduos e a entrada de matéria-prima não renovável (DORSTHORST; HENDRIKS, 2000).

De uma forma geral, estes ciclos para a construção tentam aproximar a construção civil do conceito de desenvolvimento sustentável, entendido aqui como um processo que leva à mudanças na exploração de recursos, na direção dos investimentos, na orientação do desenvolvimento tecnológico e nas mudanças institucionais, todas visando à harmonia e ao entrelaçamento nas aspirações e necessidades humanas presentes e futuras. Este conceito não implica somente multidisciplinariedade, envolve também mudanças culturais, educação ambiental e visão sistêmica (BRANDON, 1998; ANGULO, 2000; JOHN, 2000; ZWAN, 1997).

Embora a redução na geração de resíduo seja sempre uma ação necessária, ela é limitada, uma vez que existem impurezas na matéria-prima, envolve custos e patamares de desenvolvimento tecnológico (SOUZA et al., 1999; JOHN, 2000).

Desta forma, a reciclagem na construção civil pode gerar inúmeros benefícios citados abaixo:

- Redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000).
- Redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem. Destaca-se aqui a necessidade da própria reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999).
- Redução do consumo de energia durante o processo de produção. Destaca-se a indústria do cimento, que usa resíduos de bom poder calorífico para a obtenção de sua matéria-prima (co-incineração) ou utilizando a escória de alto-forno, resíduo com composição semelhante ao cimento (JOHN, 2000).

- Redução da poluição; por exemplo para a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico utilizando escória de alto forno em substituição ao cimento portland (JOHN, 1999).

2. IMPACTOS DA RECICLAGEM

A reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, também pode causar impactos ao meio ambiente. Variáveis como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo o era antes de ser reciclado. Dessa forma, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente gerenciados.

A quantidade de materiais e energia necessários ao processo de reciclagem pode representar um grande impacto para o meio ambiente. Todo processo de reciclagem necessita de energia para transformar o produto ou tratá-lo de forma a torná-lo apropriado a ingressar novamente na cadeia produtiva. Tal energia dependerá da utilização proposta para o resíduo, e estará diretamente relacionada aos processos de transformações utilizados. Além disso, muitas vezes, apenas a energia não é suficiente para a transformação do resíduo. São necessárias também matérias-primas para modificá-lo física e/ou quimicamente.

Como qualquer outra atividade, a reciclagem também pode gerar resíduos, cuja quantidade e características também vão depender do tipo de reciclagem escolhida. Esses novos resíduos, nem sempre são tão ou mais simples que aqueles que foram reciclados. É possível que eles se tornem ainda mais agressivos ao homem e ao meio ambiente do que o resíduo que está sendo reciclado. Dependendo de sua periculosidade e complexidade, estes rejeitos podem causar novos problemas, como a impossibilidade de serem reciclados, a falta de tecnologia para o seu tratamento, a falta de locais para dispô-lo e todo o custo que isto ocasionaria. É preciso também considerar os resíduos gerados pelos materiais reciclados no final de sua vida útil e na possibilidade de serem novamente reciclados - fechando assim o ciclo.

Um parâmetro que geralmente é desprezado na avaliação de produtos reciclados é o risco à saúde dos usuários do novo material, e dos próprios trabalhadores da indústria recicladora, devido a lixiviação de frações solúveis ou até mesmo pela evaporação de frações voláteis. Os resíduos muitas vezes são constituídos por elementos perigosos como metais pesados (Cd, Pb) e compostos orgânicos voláteis. Estes materiais mesmo quando inertes nos materiais - após a reciclagem - podem apresentar riscos, pois nem sempre os processos de reciclagem garantem a imobilização destes componentes.

Dessa forma, é preciso que a escolha da reciclagem de um resíduo seja criteriosa e pondere todas as alternativas possíveis com relação ao consumo de energia e matéria-prima pelo processo de reciclagem escolhido.

3. A RECICLAGEM DE RESÍDUOS NO BRASIL

Comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço.

Este atraso tem vários componentes. Em primeiro lugar, os repetidos problemas econômicos e os prementes problemas sociais ocupam a agenda de discussões políticas.

Mesmo a discussão mais sistemática sobre resíduos sólidos é recente. No Estado de São Paulo só recentemente iniciou-se a discussão de uma Política Estadual de Resíduos Sólidos, na forma de um texto de lei aprovado pelo Conselho Estadual de Meio Ambiente. Este projeto de Lei estabelece uma política sistemática de resíduos, incluindo ferramentas para minimização e reciclagem de resíduos. Atualmente está em discussão no CONAMA um texto que consolida os 6 projetos de lei em tramitação no Congresso Nacional¹.

Assim, em larga medida a questão ambiental no Brasil, ainda é tratada como sendo um problema de preservação da natureza, particularmente florestas e animais em extinção, deposição em aterros adequadamente controlados e controle da poluição do ar, com o estado exercendo o papel de polícia. A recente lei federal de crimes ambientais (nº9.605, 13 Fev 1998) revela um estado ainda mais voltado a punição das transgressões a legislação ambiental vigente do que em articular os diferentes agentes sociais na redução do impacto ambiental das atividades, mesmo que legais, do desenvolvimento econômico. Um contraponto a esta ação predominantemente policial foi a iniciativa pelo Governo do Estado de São Paulo, através da CETESB, de implantação de 17 Câmaras Ambientais setoriais, inclusive construção civil.

Recentemente o governo federal através da portaria antigo Ministério da Indústria, Comércio e Turismo nº92 (06 Agosto 1998) criou um grupo de trabalho inter-ministerial com o objetivo de elaborar proposta de Programa Brasileiro de Reciclagem que estabeleça diretrizes que permitam incrementar e valorizar a utilização, como matérias-primas, de resíduos industriais, minerais e agropecuários, bem como o desenvolvimento do parque industrial nacional reciclador (MCT, 1999). Embora a portaria tenha estabelecido um prazo de 90 dias para o encerramento dos trabalhos, até o momento não se tem nenhum desdobramento prático e teme-se que a iniciativa tenha sido afetada no processo de transição do governo federal.

Uma medida positiva foi a promulgação no dia 12 de Maio de 1999 da Lei do Estado de São Paulo nº10.311, do Selo Verde, um certificado de qualidade ambiental, a ser conferido pela CETESB, a estabelecimentos sediados no Estado de São Paulo que executem programas de proteção e preservação do meio ambiente, com efetivo cumprimento das normas ambientais (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1999). Apesar de não ser voltada para a identificação de produtos, trata-se de um avanço significativo.

A inexistência destas marcas de qualidade ambiental de produtos demonstra que, diferente de outros países, as empresas brasileiras que eventualmente reciclam não utilizam sua contribuição ambiental como ferramenta de marketing, apesar do consumidor, mantido o preço e a qualidade, preferir produtos com menor impacto ambiental (MORENO, 1998).. Um das causas

¹ Contato pessoal com a Dra. Lúcia Sena, Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo em 25 de Maio de 1999.

possíveis para este aparente desinteresse é um eventual receio de que o público consumidor leigo associe o produto reciclado a produto de baixa qualidade. Esta dúvida somente pode ser resolvida através de pesquisa de mercado.

3.1. A experiência da indústria da construção brasileira

Sem qualquer sombra de dúvida a maior experiência brasileira na área de reciclagem de produtos gerados por outras indústrias na produção de materiais de construção civil é a conduzida pela indústria cimenteira, que recicla principalmente escórias de alto forno básica e cinzas volantes. YAMAMOTO et al (1997) estimam que em 1996 a indústria cimenteira brasileira ao adotar a reciclagem maciça de cinzas volantes e escórias granuladas de alto forno básicas, além da calcinação de argilas e adição de filler calcário, reduziu a geração de CO₂ em 29% e uma economia de combustível de 28%. Adicionalmente, MARCIANO; KHIARA (1997) estimam que a indústria cimenteira economizou entre 1976 e 1995 cerca de 750 mil toneladas de óleo combustível queimando resíduos, como casca de arroz, serragem e pedaços de madeira, pó de carvão vegetal, pedaços de pneus e borrachas, cascas de babaçu, entre outros. Atualmente a indústria cimenteira inicia no Brasil a prática de co-processamento, definido como calcinação de resíduos em fornos de cimento, reduzindo o consumo de energia e diminuindo o volume de resíduos em aterros.

3.1.1. Reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD)

A reciclagem de RCD como material de construção civil, iniciada na Europa após a segunda guerra mundial, encontra-se no Brasil muito atrasada, apesar da escassez de agregados e área de aterros nas grandes regiões metropolitanas, especialmente se comparada com países europeus, onde a fração reciclada pode atingir cerca de 90% recentemente, como é o caso da Holanda (ZWAN, 1997; DORSTHORST; HENDRIKS, 2000), que já discute a certificação do produto (HENDRICKS, 1994).

A variação da porcentagem da reciclagem dos RCD em diversos países é função da disponibilidade de recursos naturais, distância de transporte entre reciclados e materiais naturais, situação econômica e tecnológica do país e densidade populacional (DORSTHORST; HENDRIKS, 2000).

Embora já se observe no mercado a movimentação de empresas interessadas em explorar o negócio de reciclagem de RCD e não apenas o negócio de transporte, as experiências brasileiras estão limitadas em ações das municipalidades (PINTO, 1999) que, buscam reduzir os custos e o impacto ambiental negativo da deposição do enorme massa de entulho (média de 0,5 ton/hab. ano, obtida segundo dados de PINTO (1999) no meio urbano para algumas cidades brasileiras de médio e grande porte).

Algumas municipalidades como a de Belo Horizonte (CAMPOS et al., 1994) operam plantas de reciclagem, produzindo principalmente base para pavimentação. Adicionalmente a tecnologia de reciclagem de RCD em canteiro pode ser empregada para a produção de argamassas, aproveitando inclusive a atividade pozolânica conferida por algumas frações cerâmica (LEVY; HELENE, 1996).

A reciclagem de RCD para argamassas e concretos já foi estudada e tem se mostrado viável em estudos brasileiros do ponto de vista tecnológico e econômico. Entretanto, a avaliação do risco ambiental não foi avaliada (LEVY, 1997; MIRANDA, 2000; HAMASSAKI et al., 1997; ZORDAN, 1997; BARRA, 1996; MORALES, ANGULO, 2000).

A reciclagem de pavimento asfáltico, introduzida no mercado paulistano no início da década de 90 é hoje uma realidade nas grandes cidades brasileiras, viabilizando a reciclagem tanto do asfalto quanto dos agregados do concreto asfáltico.

Um dos problemas mais graves nos RCD é variabilidade de composição e conseqüentemente, de outras propriedades desses agregados reciclados (ANGULO, 2000; ZORDAN, 1997; PINTO, 1999; HARDER; FREEMAN, 1997; DORSTHORST; HENDRIKS, 2000).

A recente introdução maciça de gesso na forma de revestimentos ou placas no Brasil pode ser um complicador para a reciclagem dos RCD, caso processos de controle não sejam instalados em Centrais de Reciclagem.

A solução para alguns contaminantes presentes nos RCD (plásticos e madeiras) pode ser o emprego de tanques de depuração por flotação e separadores magnéticos (QUEBAUD; BUYLE-BODIN, 1999); mas, em alguns casos, a retirada das fases contaminantes pode ser algo bem mais complexo, como compostos orgânicos voláteis e hidrocarbonetos (MULDER et al., 2000).

A solução para a variabilidade da composição e das outras propriedades desses agregados pode ser o manejo em pilhas de homogeneização, reduzindo esta variabilidade. O que se sugere, é o emprego dos agregados em diversas finalidades, porém com um adequado controle, permitindo a valorização do resíduo e não simplesmente destiná-lo para as necessidades de pavimentação, que são as de menores exigências de qualidade (ANGULO, 2000).

Atualmente, existem ações em desenvolvimento para regulamentar e facilitar a gestão urbana desses resíduos: grupo do Conama e grupo da Câmara Ambiental de São Paulo. A seguir, serão destacados alguns itens que estão em discussão nestes grupos:

- Viabilização da deposição legal da fração mineral: tem como objetivo permitir o uso da fração mineral sem riscos de contaminação ambiental do lençol freático ou dos componentes reciclados quando utilizados dentro do princípio de reaproveitamento/reciclagem do material e viabilizar o processo de reciclagem com otimização das potencialidades do resíduo. Este processo prevê o licenciamento de Estação de transbordo e classificação.
- Desenvolvimento de mercado para reciclados de resíduo mineral: deve prever também a existência de mercado privado para os componentes reciclados. A diversificação de produtos aumenta a possibilidade de consumo dos mesmos, além de que as características de heterogeneidade do resíduo exigem a aplicação em diversas finalidades, sempre com o objetivo de máxima valorização do resíduo para o aumento de competitividade com os componentes tradicionais. As ferramentas de controle de qualidade e processo são indispensáveis.

3.1.2. Reciclagem de escória de alto forno

A produção anual de escórias de alto forno no Brasil em 1996 foi de 6,4 milhões de toneladas, sendo que 0,7 milhões são resfriadas lentamente² e o restante gera material granulado, sendo, portanto adequada à reciclagem como aglomerantes. Uma grande parte da escória granulada é consumida pela indústria cimenteira. No entanto, uma parte considerável, mesmo a de composição alcalina, permanece acumulada em aterros.

O mercado brasileiro ainda não dispõe de escória moída para mistura em betoneira e nem de agregados leves de escória. A produção de agregados leves é feita através da peletização da escória (PERA, 1996), em um processo onde fluxo de escória líquida é interceptado por uma roda dentada rotatória, resfriada com pequena quantidade de água, e projetada em na forma de grãos de tamanho variável. Os grãos menores são predominantemente vítreos e podem ser utilizados na produção de cimento e os grãos maiores constituem-se em agregados leves.

No atual momento a indústria siderúrgica já considera o foco ambiental como parte de sua estratégia competitiva, valorizando economicamente seus resíduos, diversificando o seu mercado consumidor. Recentemente este interesse levou a construção da primeira fábrica brasileira de cimento que não dispõe de forno próprio para a produção de clínquer, a cimento Mizu. Esta fábrica opera produzindo cimento CPIII que é adquirido pelo oriente e também pelo mercado nacional. Localizada dentro da área da CST, está capacitada a produzir cerca de 700 mil toneladas de cimento ao ano. Atualmente a CST também está exportando escória granulada para os EUA.

Os efeitos ambientais deste tipo de cimento são substancialmente menores do que os gerados pelo cimento Portland comum, significativamente perceptíveis quando se avalia o ciclo de vida deste novo cimento. Notadamente as emissões ao meio ambiente e o consumo de matérias-primas são reduzidos. Além disso, o aumento da durabilidade das estruturas de concreto confeccionadas com a adição de escória de alto forno, diminuem os custos de manutenção dessas obras (BIJEN, 1996).

Além das escórias de alto forno, a indústria siderúrgica brasileira produz cerca de 3,2 Mton de escórias de aciaria, tanto elétrica como de conversor LD. De composição variáveis entre as diferentes indústrias e mesmo tipos de aço, estas escórias são expansivas, uma vez que apresentam grandes teores de aço (em alguns casos acima de 20%), CaO, MgO e o instável $\gamma\text{C}_2\text{S}$. Apesar dos riscos envolvidos este produto, após a remoção mecânica das frações mais ricas em metal, e envelhecimento, dados do Instituto Brasileiro de Siderurgia indicam que cerca de 38% tem sido recicladas na forma de lastro ferroviário – especialmente na área de influência da Companhia Vale do Rio Doce e pavimentação (SILVA, 1999).

² Palestra de Maria Cristina Yuan, IBS no PCC USP em 26/11/1998

Devido à falta de critérios de controle adequados à realidade brasileira, a expansibilidade deste tipo de escória tem levado a vários desastres, tanto quando utilizada como base de pavimentação, aterro ou agregado para concreto. O desenvolvimento de critérios técnicos para análise do risco de expansão deste produto é a uma preocupação do setor siderúrgico. O método hoje existente é uma adaptação do método CBR para solos. Neste método, resultados de SILVA (1999) apresentam expansões de mais de até 10%.

3.1.3. Reciclagem de sucata de aço

O setor siderúrgico é também um grande reciclador. Boa parte do aço destinado a reforço de concreto armado produzido no país é proveniente do processo de arco elétrico, que utiliza como matéria prima quase que exclusivamente sucata³. A reciclagem desta sucata permitiu economizar em 1997 cerca de 6 milhões de toneladas de minério de ferro, evitou a geração de cerca de 2,3 milhões de toneladas de resíduos e de cerca de 11 milhões de toneladas de CO₂⁴.

3.1.4. Reciclagem de cinzas volantes

O setor termoelétrico e outras indústrias que queimam carvão em caldeiras de leito fluidizado geram cerca de 1,4 M ton de cinzas volantes todos os anos e cerca de 0,36 Mton de cinzas de grelha, mas este valor deve crescer no futuro próximo. As cinzas volantes são comercializadas especialmente para a indústria de cimento, embora existam várias pesquisas para a produção de cal hidráulica e cimentos .

As cinzas de grelha não encontram aplicação no mercado brasileiro. Nos mercados inglês e norte-americano existem inclusive associações setoriais voltada a promoção e aperfeiçoamento do mercado de produto, tendo sido criada recentemente a Worldwide Coal Ash Council. A cinza de grelha, mesmo em uma grande central termoelétrica como a de Drax é integralmente comercializado como agregado, especialmente na indústria de blocos de concreto leves e de maior resistência térmica. Um dos consumidores destes agregados é a Tarmac Topblocks que produz uma linha de blocos chamada HEMETILE, contendo mais de 50% de resíduos, que utiliza como argumento de venda a sua adequação ao sistema de certificação de edifícios BREEAM.

O mercado da cinza volante como adição mineral em concretos de cimento Portland possui ainda um grande potencial de expansão. Embora esta prática traga vários benefícios ao concreto, como o aumento da durabilidade, a redução da fissuração térmica, o aumento da resistência, entre outros, o seu emprego ainda é tímido em alguns países. Enquanto na Europa a adição ao concreto alcance os 40%, no Brasil e nos EUA esse percentual não ultrapassa os 20%.

³ Estimativa da liberação de CO₂ considerando que a produção de 1 ton ferro gusa libera 2,2 ton CO₂ (MARCIANO & KHIARA, 1997)

3.1.5. Outros resíduos

Existe uma grande quantidade de resíduos com potencial de emprego na construção civil e que ainda são ignorados pelo mercado e até pesquisadores brasileiros. Os resíduos derivados do saneamento urbano, ou seja, escória da incineração de lixo urbano domiciliar e lixo hospitalar e o lodo de esgoto devem apresentar um crescimento acentuado na sua produção no futuro próximo, especialmente na cidade de São Paulo, onde inexistem áreas de deposição e está previsto o saneamento do Rio Tietê. A reciclagem fosfogesso, resíduo da produção de adubos, já foi testada no passado no Brasil. No entanto os produtos apresentaram enorme tendência ao desenvolvimento de fungos na fase de uso e a tecnologia foi abandonada.

4. METODOLOGIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

Um processo de pesquisa e desenvolvimento de um novo material ou produto a partir de um resíduo, que venha a se estabelecer como uma alternativa de mercado ambientalmente segura, é uma tarefa complexa envolvendo conhecimentos multidisciplinares. Assim, uma metodologia que tenha por objetivo orientar atividades de pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos como materiais de construção deve reunir e articular os conceitos e ferramentas relevantes ao desenvolvimento das diferentes atividades e deve compreender os seguintes tópicos:

4.1. Identificação e quantificação dos resíduos disponíveis

A determinação de dados quantitativos dos resíduos, como a quantidade nacional gerada, os locais de produção e a sua periculosidade, é de grande importância para a sua localização dentro do cenário econômico, social e político do local onde ele é gerado. Os inventários de resíduos são certamente as fontes mais fáceis de obtenção destas informações, mas nem sempre eles existem ou estão disponíveis.

Nesta etapa é necessário confirmar e detalhar os dados sobre a geração do resíduo na empresa ou na região em estudo. Além da quantidade de resíduos anual ou mensal gerada é também importante neste estágio detectar eventual sazonalidade na geração do resíduo e o volume existente em estoque.

4.2. Caracterização do resíduo

É fundamental um estudo das características físico-químicas e as propriedades dos resíduos, através de ensaios e métodos apropriados. Tais informações darão subsídio para a seleção das possíveis aplicações dos resíduos. A compreensão do processo que leva a geração do resíduo fornece informações imprescindíveis à concepção de uma estratégia de reciclagem com viabilidade no mercado. É também importante investigar a variabilidade das fontes de fornecimento de matérias-primas; é possível operar com matérias-primas bastantes variáveis mantendo sob controle as características do produto principal variando, no entanto, a composição dos resíduos.

4.3. Custos associados aos resíduos

Os custos despendidos com os resíduos, como os de licenças ambientais, deposição de resíduos, transportes, as multas ambientais, entre outros devem ser considerados para a futura avaliação da viabilidade econômica da reciclagem. Da mesma forma, o faturamento obtido quando o produto é comercializado deve ser apropriado separadamente, assim como a proporção real entre o comercializado e o estocado.

Uma das condições para viabilizar o novo produto no mercado é que seu preço de venda seja competitivo com a solução técnica já estabelecida ou que haja um nicho de mercado onde o produto apresente significativa vantagem competitiva. Para atrair o interesse do gerador do resíduo sob o estrito ponto de vista financeiro, a reciclagem precisa reduzir os custos com o resíduo, incluídos custos decorrentes da necessidade de mudança de tratamento do resíduo de forma a adequá-lo à reciclagem.

4.4. Seleção das aplicações a serem desenvolvidas

De acordo com as características físico-químicas dos resíduos, são avaliadas as aplicações tecnicamente viáveis a partir de sua reciclagem. Como regra geral, tais aplicações são aquelas que melhor aproveitam as suas características. Assim, a aplicação não deve ser feita em torno de idéias pré-concebidas. Esta etapa requer uma grande variedade de conhecimentos técnicos, científicos e de mercado, exigindo o envolvimento de uma equipe multidisciplinar.

4.5. Avaliação do produto

A metodologia de avaliação do produto deve avaliar o produto desenvolvido em relação ao seu desempenho e a sua durabilidade. O desempenho de componentes tem por objetivo analisar a adequação ao uso, ou seja, adequação às necessidades dos usuários de um produto quando integrado em alguma edificação.

A durabilidade é um aspecto fundamental no desempenho do produto, afetando o custo global da solução e o impacto ambiental do sistema. O objetivo final do estudo de durabilidade é estimar a vida útil, definida como período de tempo durante o qual o produto vai apresentar desempenho satisfatório, nas diferentes condições de uso (SJÖSTRÖM, 1996).

4.6. Análise de desempenho ambiental

É importante que o desempenho ambiental das alternativas de reciclagem sejam avaliados além dos usuais testes de lixiviação. Estes ensaios foram desenvolvidos para análise de risco ambiental de resíduos quando depositados em aterros. Geralmente, é utilizado apenas pelos órgãos de fiscalização do meio ambiente, e nem sempre com bom senso, sendo usado até mesmo como argumento para impedir processos de tratamento e de reciclagem de resíduos.

Em recente episódio (1998) a Comissão Européia proibiu a importação do farelo de polpa cítrica brasileiro (ração animal) porque foram encontrados níveis de dioxina muito acima do permitido. Detectou-se que a causa da contaminação era a cal utilizada para absorver água da polpa e tornar a ração

mais neutra, cuja procedência era a filial brasileira de uma empresa química belga (Solvay) que gera o produto como um resíduo em sua linha de produção (subproduto). No entanto, a mesma cal continua a ser utilizada na construção civil. Visto que se trata de um resíduo (é um subproduto de outro processo produtivo) ela deveria ser analisada com critérios não apenas de engenharia, mas, principalmente, relacionados à saúde pública e ao meio ambiente, tendo em vista que mesmo utilizada como um material de construção ela pode causar danos aos trabalhadores, e aos usuários da construção e também ao meio ambiente, sempre considerando o período de exposição do berço ao túmulo ("cradle-to-grave").

Isso confirma, portanto, a necessidade de normas e metodologias que avaliem a utilização dos resíduos sob uma visão holística e científica.

4.7. Desenvolvimento do produto

O desenvolvimento do produto a partir do resíduo selecionado compreende as etapas de pesquisa laboratorial para o desenvolvimento de tecnologia básica, seguindo do desenvolvimento da tecnologia aplicada que envolve o processo de produção e ferramentas de gestão e controle da qualidade. Finalmente, um estágio de pré-produção ou produção em escala semi-industrial é recomendável para o refinamento do produto (JOHN; CAVALCANTE, 1996).

Nesta fase um conceito importante é o da engenharia simultânea, onde são analisados simultaneamente o desenvolvimento da tecnologia, o desempenho do novo produto, aspectos relativos a manutenção, confiabilidade, marketing e aspectos ambientais, todos do berço ao túmulo (SWINK, 1998).

4.8. Transferência de tecnologia

A reciclagem vai ocorrer apenas se o novo material entrar em escala comercial. Assim, a transferência da tecnologia é uma etapa essencial do processo. Para ela o preço do produto é importante, mas não é suficiente. A colaboração entre os diversos atores envolvidos no processo - geradores do resíduo, potenciais consumidores, agências governamentais encarregadas da gestão do ambiente e das instituições de pesquisa envolvidas - é fundamental para o sucesso da reciclagem, e deverá ocorrer preferencialmente desde o momento em que a pesquisa se inicia.

Além disso, há a necessidade de se convencer os consumidores finais e profissionais que utilizarão ou indicarão os novos produtos. O uso de documentação e certificados que garantam as vantagens do novo produto, bem como a colaboração de universidades e centros de pesquisa com reputação de excelência no mercado, certamente auxilia no convencimento da qualidade do produto.

5. CONCLUSÕES



As metas para se atingir desenvolvimento sustentável empregando resíduos na construção civil devem contemplar a reciclagem e uma metodologia p&d é fundamental para um mercado efetivo para os resíduos. Esta metodologia deve ser criteriosa e cautelosa. Ao se analisar a reciclagem de resíduos na construção civil brasileira percebe-se falhas no processo de pesquisa e desenvolvimento, principalmente no tocante aos atores envolvidos no processo. Encontram-se problemas no desenvolvimento do produto, transferência de tecnologia e análise de desempenho ambiental. A reciclagem de RCD tenta consolidar seus processos de produção e garantia de qualidade na busca de um mercado mais diversificado e efetivo, através de ações discutidas no grupo do Conama e no grupo da Câmara Ambiental de São Paulo. O desempenho ambiental na reciclagem deste resíduo é ainda negligenciado e existem problemas na etapa de caracterização do resíduo. Embora a reciclagem de escórias e cinzas volantes tenha um mercado mais consolidado, suas aplicações são limitadas, indicando problemas na transferência de tecnologias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados**. São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- BARRA, M. **Estudio de la durabilidad del hormigón de árido reciclado en su aplicación como hormigón armado**. Barcelona, 1996. 222p. Tese (Doutorado) - Universidade Politécnica da Catalunya.
- BIJEN, J. Blast furnace slag cement for durable marine structures. Stichting BetonPrima: The Netherlands, 1996. 62p. ISBN: 90-71806-24-3.
- BRANDON, P.S. Sustainability in management and organisation: the key issues? In: CIB BUILDING CONGRESS – MATERIALS AND TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION, Suíça, 1988. **Proceedings**. Suíça, 1998. p.1739-47.
- BRITO, J.A. Cidade versus entulho. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, Comitê Técnico CT206 Meio Ambiente (IBRACON), 1999. p.56-67.
- CAMPOS, H.K. et al. Programa para correção das deposições e reciclagem de resíduos em Belo Horizonte. In: Seminário Reciclagem de resíduos para a redução de custos na Construção Habitacional. Belo Horizonte, 1994. p.56-65.
- CURWELL, S.; COOPER, I. The implications of urban sustainability. **Building Research and Information**. V.26, nº1, 1998. p. 17-28.
- DORSTHORST, B.J.H; HENDRIKS, Ch. F. Re-use of construction and demolition waste in the EU. In: CIB Symposium: Construction and Environment – theory into practice., São Paulo, 2000. **Proceedings**. São Paulo, EPUSP, 2000.

- GUNTHER, W.M.R. Minimização de resíduos e educação ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 7. Curitiba, 2000. **Anais**. Curitiba, 2000.
- HARDER, M.K.; FREEMAN, L.A. Analysis of the volume and composition of construction waste arriving at landfill. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE BUILDINGS AND THE ENVIRONMENT. Paris, 1997. **Proceedings**. Paris, 1997. p.595-602.
- HAMASSAKI, L.T. et al. Uso do entulho como agregado para argamassas de alvenaria. In: RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, ALTERNATIVA ECONÔMICA PARA PROTEÇÃO AMBIENTAL. São Paulo, 1997. **Anais**. São Paulo (EPUSP), 1997. p.11-20.
- JOHN, V.M.; CAVALCANTE, J.R. Conclusões. In: Workshop Reciclagem de Resíduos como Materiais de Construção Civil. São Paulo: ANTAC, 1996.
- JOHN, V.M.J. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 1999. p.44-55.
- JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p.
- HENDRICKS, C.F. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. Certification system for aggregates produced from building waste and demolished buildings. In: Environmental aspects of construction with waste materials. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 821-834.
- LEVY, S.M.; HELENE, P.R.L. Propriedades mecânicas de argamassas produzidas com entulho de construção civil. In: Workshop Reciclagem e Reutilização de resíduos como materiais de construção civil. São Paulo, 1996. ANTAC, PCC USP, UFSC. p. 137-146.
- LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MARCIANO, E.; KIHARA, Y. Looking green. **World Cement**. Abril, 1997.p.82-88.
- MIRANDA, L.F.R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. São Paulo, 2000. 172p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MCT Consultoria jurídica. **Portaria nº92, de 06 de agosto de 1998**. http://www.mct.gov.br/conjur/POR92_98.htm. 22/05/99 17h 37 min.
- MORALES, G.; ANGULO, S.C. Produção de concreto de cimento portland utilizando entulho de obra reciclado. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7. Salvador, 2000. **Anais**. Salvador, ANTAC, 2000.
- MORENO, H. O foco ambientalista da construção civil. In: Seminário Materiais&Design – Interface no desenvolvimento do produto. **Anais**. São Carlos, 1998. FIESP, UFSCAR, SEBRAE. 1998. p.174-182.

- MULDER, E. et al. Immobilisation of PAH in waste materials. **In:** Waste Materials in Constructions. Inglaterra, 2000. **Proceedings**. Inglaterra, 2000. p. 953-62.
- PERA, J. State of the art report: use of waste materials in construction in western Europe. **In:** SEMINÁRIO SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. São Paulo, 1996. **Anais**. São Paulo (PCC-EPUSP), 1996. p.1-20.
- PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- QUEBAUD, M.R.; BUYLE-BODIN, F. A reciclagem de materiais de demolição: utilização dos agregados reciclados no concreto. **In:** CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO(CBC), 5. São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo, 1999. 14p.
- SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Governo do estado institui Selo Verde para produtos que respeitam a natureza**. <http://www.ambiente.sp.gov/not2105c.htm>.
- SJOSTROM, E. Service life of the building. **In:** Application of the performance concept in building. CIB: Tel Aviv, 1996, v.2, p.6-1;6-11.
- SILVA, E.A. Uso de escória de aciaria em pavimentação viária. **In:** Workshop Eco-eficiência na indústria siderúrgica. Belo Horizonte, 1999. IBS, ABM, 1999, s.p.
- SOUZA, U.E.L. et al. Desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. **In:** SIMPÓSIO NACIONAL – DESPERDÍCIO DE MATERIAIS NOS CANTEIROS DE OBRAS: A QUEBRA DO MITO. São Paulo, 1999. **Anais**. São Paulo (PCC/EPUSP), 1999. 48p.
- SWINK, M.L. Tutorial on implementing concurrent engineering in new product development. *J. Operations Management*, n.16, 1998. P.103-116.
- YAMAMOTO, J.K. et al. Environmental impact reduction on the production of blended portland cement in Brazil. **Environmental Geosciences**, v.4, n^o4, 1997, p. 192-206.
- ZWAN, J.T. Application of waste materials – a success now, a success in the future. **In:** WASTE MATERIALS IN CONSTRUCTIONS: PUTTING THEORY INTO PRACTICE. Great Britain, 1997. **Proceedings**. Great Britain, 1997. p.869-81.

 IBRACON	IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações São Paulo 5 e 6 de junho de 2001	 CT- 206 MEIO AMBIENTE
--	---	---

DIAGNÓSTICO DO RESÍDUO DA CONSTRUÇÃO CIVIL – INÍCIO DO CAMINHO PARA O USO POTENCIAL DO ENTULHO

XAVIER , Luciana Lopes (1); **ROCHA**, Janaide Cavalcante (2)

- (1) Mestranda do PPGEC/UFSC. Rua: João Pio Duarte Silva, 250, Bl.: 06, Apto.: 103, Córrego Grande, CEP: 88.037-000 – Florianópolis/SC. E-mail: ecv3llx@ecv.ufsc.br
- (2) Eng^a. Civil, Doutora em Engenharia, Professora da UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Núcleo de Pesquisa em Construção – NPC. Departamento de Engenharia Civil – ECV. Campus Universitário – Trindade. Caixa Postal: 476, CEP: 88.040-900. Florianópolis/SC. Telefone: (048) 3315169 / 331- 5170. E-mail: janaide@npc.ufsc.br

Palavras-chave: meio ambiente, reciclagem, caracterização, entulho.

RESUMO

A questão ambiental está cada vez mais sendo debatida em discussões relacionadas com desenvolvimento nas esferas internacional, nacional e local. O crescimento da população, o progresso da indústria e o processo acelerado da urbanização contribuem para o aumento da geração de resíduos. O desenvolvimento no setor da construção civil ocasiona um aumento de energia e matéria-prima consumidas e eleva a geração de resíduos (entulho), provocando um grande impacto ao meio ambiente. O diagnóstico do resíduo da construção civil é o primeiro passo para a viabilidade de utilização em potencial do entulho. O conhecimento da quantidade e composição do entulho gerado, o impacto que este causa na administração municipal e ao meio ambiente, são fatores fundamentais a serem analisados, dando subsídios para a utilização destes resíduos em substituição parcial ou total da matéria-prima para componentes da construção civil.

1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental está cada vez mais sendo debatida em discussões relacionadas com desenvolvimento nas esferas internacional, nacional e local.

O crescimento da população, o progresso da indústria e o processo acelerado da urbanização contribuem para o aumento da geração de resíduos. O desenvolvimento no setor da construção civil ocasiona um aumento de energia e matéria-prima consumidas e eleva a geração de resíduos (entulho), provocando um grande impacto ao meio ambiente.

A proteção ao meio ambiente tornou-se um desafio da sociedade, pois esta tem como desígnio reduzir o consumo de energia, matérias-primas naturais e produção de resíduos. A preocupação com a preservação ambiental cresce a cada dia e os movimentos sociais junto com a população exigem que as políticas públicas dêem maior importância aos problemas ambientais.

O grande volume de resíduos produzidos diariamente torna-se um dos principais problemas das administrações municipais. As prefeituras precisam gerenciar estes resíduos adequadamente para que não acarretem problemas ambientais, sanitários, sociais e econômicos vindo a afetar a população.

As vantagens obtidas com a reciclagem estão na esfera ambiental, econômica e social. O meio ambiente é o mais beneficiado, entendendo que o homem está inserido no meio, pois a melhoria na qualidade de vida e a preservação dos recursos naturais são enormes, citando ainda, a diminuição da destinação dos resíduos em áreas inadequadas. Com relação a economia, as experiências demonstram ser bem mais vantajoso reciclar o entulho à depositá-lo irregularmente. No âmbito social as contribuições podem ser levadas aos programas de habitação popular através da redução dos custos de produção das unidades.

A reciclagem de materiais da construção civil deve ser subsidiado por um programa bem mais amplo, onde envolva além do processamento dos resíduos, a recuperação de áreas degradadas com limpeza; a implantação de áreas destinadas à recepção de materiais oriundos da construção civil, reduzindo a necessidade de áreas públicas usadas como aterro de materiais que podem ser reaproveitáveis; a renovação da fiscalização permitindo o envolvimento dos agentes pertencentes a problemática dos resíduos de construção e demolição.

No solucionamento do problema do entulho através da reciclagem deve desenvolver algumas avaliações básicas. São elas:

- verificação do volume gerado de entulho ou de controle da administração municipal;
- identificação das características principais (composição e proporção dos componentes);
- estabelecimento das áreas disponíveis para recolhimento de entulho e para suas aplicações;
- inventário do potencial de industrialização dos materiais e agregados e de comercialização do refugo (madeira, metais, papel e plástico).

Através da avaliação básica torna-se possível fazer um levantamento econômico do trabalho de reciclagem, dimensionando equipamentos e instalações necessárias à trituração e beneficiamento do material, como também permitir a avaliação de dois cenários: agregado reciclado como produto final e seu uso em artefatos dosados in loco.

A utilização do entulho como matéria-prima na confecção de produtos para construção civil já está sendo largamente estudado por diversas Universidades do país, mostrando ter bom potencial para diversos usos. O agregado britado, peneirado e se necessário descontaminado, encontra-se aplicações tais como: enchimentos em geral; enchimento em projetos de drenagem; sub-base ou material de base para construção rodoviária e; agregado para novos concretos.

Dentro deste contexto, considera-se importante o diagnóstico da geração do entulho no município de Florianópolis quando tem-se por fim o uso potencial do entulho como substituição parcial ou total da matéria-prima na confecção de componentes para construção civil.

2. SITUAÇÃO ATUAL DO GERENCIAMENTO DO ENTULHO NO MUNICÍPIO

Em Florianópolis, a eliminação do entulho em áreas de preservação e/ou impróprias para disposição, de maneira indiscriminada e clandestina, provoca um problema ambiental que necessita de uma solução.

Os serviços de limpeza pública do município de Florianópolis são de responsabilidade da COMCAP (Companhia de Melhoramentos da Capital), empresa de economia mista municipal. A COMCAP é responsável pelo recolhimento de cerca de 3% do entulho gerado na cidade. O restante é coletado pelas empresas de coleta informal (privada) ou por carreteiros. O entulho coletado pelas empresas da coleta informal é eliminado em um aterro no município vizinho (São José) ou ainda, em áreas impróprias para tal, bem como utilizado para regularizar terrenos particulares à pedido dos proprietários. De acordo com o que já foi pesquisado até o momento a Provável Geração Total de Entulho de Florianópolis é cerca de 636,12 (t/dia).

3. METODOLOGIA PARA CARACTERIZAÇÃO DO ENTULHO

3.1. Caracterização Quantitativa

Segundo PINTO (1999) podemos construir os indicadores sobre a produção de resíduos da construção e demolição através das estimativas de áreas construídas (serviços executados e perdas efetivadas), da movimentação de cargas pelos coletores e do acompanhamento de descargas nas áreas utilizadas como destinação final dos resíduos. Esta última base de consulta é de difícil acesso, devido a pulverização das descargas em dezenas de pontos nos espaços urbanos, como também pela impossibilidade de acompanhamento físico das descargas em cada ponto, por longo período de tempo. Este último fato é comprovado aqui no município, pois são diversas as áreas clandestinas de deposição de entulho, existindo somente uma área para recebimento do entulho, somente o que é coletado pela COMCAP, e o restante do material é disposto em um aterro no município vizinho (São José), em áreas impróprias para disposição de entulho e utilizado para regularizar terrenos particulares à pedido dos proprietários.

Baseado nas afirmações de PINTO (1999), busca-se obter, através das outras duas bases de informação, os números referentes à geração dos resíduos de construção e demolição. A seguir temos a estimativa da geração de Resíduos da Construção e Demolição a partir atividades de construção e da ação dos coletores.

Em Florianópolis, nos últimos 03 anos, a atividade de construção civil (área total de Habite-se menos a porcentagem das ampliações e reformas (m²/ano), gerou uma média de 465.047,32 m², como mostra a Tabela 1.

Tabela 1- Estimativa da geração de Resíduos de Construção e Demolição por Área Total de Habite-se

	Florianópolis			
	997	998	999	Média
Área Total de Habite-se menos % das Ampliações e Reformas (m ² /ano)	35.148,11	15.918,74	44.075,11	65.047,32
Taxa de Geração de Resíduos (kg/m ²)	50	50	50	50
Provável geração de Resíduos (t/ano)	5.272,22	2.387,81	1.611,27	9.757,1
Provável geração de Resíduos (t/dia) (Considerar 26 dias)	09,21	99,97	61,58	23,58

Ressalta-se que Habite-se é o licenciamento final da edificação, contabilizando para a estimativa somente as obras que foram liberadas pela Prefeitura.

Das atividades de construção, a provável geração de entulho é de 223,58 (t/dia).

No município de Florianópolis existem dezessete empresas atuando na atividade da coleta informal (privada), conhecidas como “tele, papa, entulhos”, sendo nove localizadas em São José (município vizinho) e oito em Florianópolis. A quantidade de entulho recolhido varia muito de uma empresa para outra, dependendo do número de contêineres e caminhões que cada uma possui. Estas empresas estão coletando cerca de 17.000 m³/mês (784,61 t/dia) de entulho no município de Florianópolis. O preço cobrado por estas empresas é de acordo com a distância, variando de R\$ 30 (trinta) a R\$ 35 (trinta e cinco reais) o contêiner (dimensões de 4,5 a 6 metros cúbicos). A partir de questionários enviados a estas empresas pudemos quantificar o volume de entulho coletado pelas mesmas no município de Florianópolis.

Tabela 2 - Estimativa da remoção de entulho pelas empresas de coleta privada no município de Florianópolis

Florianópolis			
Estimativa Volume de Entulho coletado pelas empresas (m ³ /mês)	Estimativa Volume de Entulho coletado pelas empresas (m ³ /dia)	Estimativa Massa de Entulho coletado pelas empresas (t/mês) *	Estimativa Massa de Entulho coletado pelas empresas (t/dia)
17.000	653,85	20.400	784,61

* Adotada a massa unitária de 1,2 t/m³.

De acordo com PINTO (1999) é necessário, para a análise dos dados, considerar a origem dos resíduos discriminada pelos coletores e estes atuam bastante junto às reformas e ampliações. Sendo feita uma média das porcentagens de atuação de alguns municípios já pesquisados é possível estabelecer um valor médio para uso no município de Florianópolis. Estima-se que cerca de 50% dos coletores atuam junto às reformas e ampliações térreas, 23% nas construções de residências térreas, 12,5% na construção de prédios de multipiso, 8% na limpeza de terrenos e 6,5% na coleta em indústrias e serviços.

Portanto o volume de entulho coletado em reformas em Florianópolis, do total de 784,61 t/dia, é de 392,31t/dia (326,92 m³/dia).

Desta maneira é possível obter somente o valor coletado em reformas. A Tabela 3 mostra estes valores.

Tabela 3 - Provável geração Total de Entulho (t/dia)

Florianópolis	
Provável geração de Resíduos de Construção e Demolição (t/dia). De acordo com Tab. 1	23,58
Massa de Entulho coletado em reformas (t/dia).	92,31
Massa de Entulho coletado pelas administrações municipais (t/dia)	0,23**
Provável Geração Total de Entulho (t/dia)	36,12

** Recentemente o serviço de limpeza pública operacionalizou um aterro para recebimento de inertes e material de poda e varrição de ruas, para atender a todo município. Neste aterro são dispostos somente os materiais (entulho, poda e varrição) recolhidos pela COMCAP e, aqueles encaminhados voluntariamente pela comunidade. Para operacionalização foi licenciada uma área de 48.000 m², com capacidade para receber 279.000 m³ de entulho. Todo material recolhido (entulho e varrição) que entra no aterro é pesado para maior controle do processo, o restante estimado em função do veículo transportador. Do mês de abril a julho/2000 foi depositado no aterro 4.781,83 toneladas do

material. O Aterro de Inertes recebe em média 438,33 m³/mês (526 t/mês ou 20,23 t/dia) de entulho.

A Tabela 4 mostra a provável geração total de alguns municípios que realizaram diagnóstico e a geração per-capita.

Tabela 4- Provável Geração Total de alguns municípios brasileiros e geração per-capita

	MUNICÍPIOS	População	Provável geração total de Resíduos da Construção e Demolição (t/dia)	Geração per-capita de entulho (kg/habxdia)
	Santo André / SP	625.564	1.013	1,61
	São José do Ribeirão Preto / SP	323.627	687	2,12
	São José dos Campos /SP	486.467	733	1,51
	Ribeirão Preto /SP	456.252	1.043	2,29
	Jundiaí /SP	293.373	712	2,43
	Vitória da Conquista /BA	242.155	310	1,28
	Campinas /SP	850.000	1.258	1,48
	Salvador	2.211.539	1.453	0,66
	Florianópolis	285.281	636,12	2,23

Fonte: Pinto (1999); Silveira (1993) , Carneiro et al. (2000) e Xavier, (2000).

Ressalta-se que a per-capita de Resíduos Sólidos Municipais é de 1,19 kg/hab.dia, enquanto que a per-capita do entulho é de 2,23kg/hab.dia.

3.2. Caracterização Qualitativa

A composição entulho inspecionado em obras de Florianópolis está composta por 23% de solo, galhos de árvores e lixo; 28% de papel, plástico, lata, aço, madeira e 49% de entulho reciclável para construção (material cerâmico e cimentício). Da parcela reciclável (49%), a composição é de 27% cimentício + cerâmico; 12% cerâmico e 61% cimentício (em massa) e 43% cimentício + cerâmico; 09% cerâmico e 48% cimentício (em volume), valores encontrados através da análise dos contêineres. O resultado da composição gravimétrica apresentado é parcial, visto que no momento da elaboração deste artigo, as atividades de caracterização qualitativa do entulho do município ainda estava em andamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a realização desta pesquisa, pretende-se apresentar um quadro atual da situação dos resíduos da construção civil na cidade de Florianópolis, procurando analisar desde sua origem até a disposição final, considerando-se, ainda a questão dos resíduos da construção civil e sua relação com a questão ambiental. Busca-se através deste trabalho, mostrar que o uso potencial do entulho é dependente de um diagnóstico da situação dos resíduos da construção civil no município.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21 LOCAL DO MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS. Meio ambiente quem faz é a gente. Versão preliminar. Março de 2000.

BASTOS, M.^a D. de A. Informações Básicas do Município de Florianópolis, IPUF, 1998.

BANCO DE DADOS IMOBILIÁRIO. Série Histórica da Área de Alvarás, Projetos e Habite-se por ano. <http://www.sinduscon-fpolis.org.br/sindusdata/2000>.

CARNEIRO, A. P.; CASSA, J. C.; QUADROS, B.E.; COSTA, D. B., SAMPAIO, T. S.; ALBERTE, E. P. V. Caracterização do entulho de Salvador visando a produção de agregado reciclado. In: ENTAC – Encontro Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído. Salvador. Abril de 2000.

PINTO, T de P. *Metodologia para a Gestão Diferenciada de Resíduos Sólidos da Construção Civil*, 1999. 209p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M.; XAVIER, L. L.; BRITO, L. A. Gestão de resíduos da coleta especial. Editora: FINEP – Programa PROSAB, (no prelo), 2001.

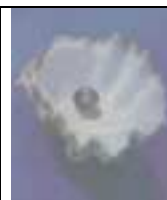
SILVEIRA, G. T. R. Metodologia de caracterização dos resíduos sólidos, como uma base - para uma gestão ambiental. Estudo de caso: Entulhos da construção civil em Campinas - São Paulo. Campinas, 1993. 170 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil de Campinas - UNICAMP.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE ENTULHO PRODUZIDO EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

ANDRADE, Artemária C. (1); **SOUZA**, Ubiraci E.L. (2); **PALIARI**, José C. (3);
AGOPYAN, Vahan (4)

- (1) Deptº de Construção Civil da Escola Politécnica da Univ. de São Paulo
Av.Prof.Almeida Prado,Trav.02,nº271, São Paulo/SP,Brasil,CEP:05.505-900
Fone/Fax: (55) 011 818-5438. E-mail: aandrade@pcc.usp.br
- (2) Deptº de Construção Civil da Escola Politécnica da Univ. de São Paulo
Av.Prof.Almeida Prado,Trav.02,nº271, São Paulo/SP,Brasil,CEP:05.505-900
Fone/Fax: (55) 011 818-5438.E-mail: ubisouza@pcc.usp.br
- (3) Deptº de Construção Civil da Escola Politécnica da Univ. de São Paulo
Av.Prof.Almeida Prado,Trav. 02,nº271,São Paulo/SP,Brasil,CEP:05.505-900
Fone/Fax: (55) 011 818-5438. E-mail: jpaliari@pcc.usp.br
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
telefone: (016) 260-8262 - E-mail: jpaliari@ufscar.power.br
- (4) Deptº de Construção Civil da Escola Politécnica da Univ. de São Paulo
Av.Prof.Almeida Prado,Trav.02,nº271,São Paulo/SP,Brasil,CEP:05.505-900
Fone/Fax: (55) 011 818-5438.E-mail: agopyan@pcc.usp.br

Palavras-chave: entulho, resíduo, desperdício, canteiro de obras

RESUMO

Este artigo é fruto de uma grande pesquisa nacional realizada por um grupo de universidades brasileiras, sob a coordenação do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, com o apoio da FINEP– Programa Habitar, do SENAI e do ITQC, tendo-se como resultado o estabelecimento de indicadores de perdas de materiais em quase uma centena de canteiro de obras.

Sabendo-se que as perdas podem ocorrer na forma de entulho ou através da incorporação desnecessária de material à construção, busca-se, a partir dos indicadores de perdas de materiais obtidos, estimar a parcela relativa ao entulho, abordando os serviços de armação, concretagem, assentamento de alvenaria, revestimentos de paredes internas e tetos com argamassa e com gesso, contrapiso, revestimentos de paredes e pisos com placas cerâmicas, revestimentos de fachadas com argamassa e com placas cerâmicas.

Finalmente, estimou-se o valor representativo do entulho gerado por unidade de área construída, tendo-se como referência uma construção tradicional hipotética e, a partir dos indicadores previamente definidos, se calculou a massa de materiais que se transformou em resíduos.

1. INTRODUÇÃO

O interesse em saber a quantidade de entulho gerada pela indústria da construção civil existe há algum tempo e tem se acirrado recentemente com a discussão de questões ambientais e a busca por comunidades sustentáveis.

Dentre os motivos que suscitaram tal discussão encontra-se a ausência de espaço físico para deposição do entulho gerado. Segundo BRITO FILHO (1999), na cidade de São Paulo só a indústria da construção civil gera 90.000 m³ de entulho por mês, considerando-se apenas o material que chega em aterros oficiais.

Ao relacionar os resíduos sólidos de construção com os resíduos urbanos gerados em algumas cidades brasileiras, PINTO (1996) apresenta, para os resíduos de construção, valores na ordem de 2/3, em massa, de todo o entulho gerado na malha urbana.

Preocupado com a destinação do entulho gerado pela indústria da construção civil no Japão, um estudo desenvolvido pela HONG KONG POLYTECHNIC (1993) constatou que, de todo o entulho gerado por essa indústria, 41% advém de construções de novas edificações e 47% de demolições, sendo os 12% restante proveniente de escavação.

No Brasil, embora os estudos sobre quantificação de entulho tenham se iniciado na década de 80, a sua abrangência era relativa a poucas obras. Em 1998, uma pesquisa nacional coordenada pelo Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da USP realizada por um grupo de 16 universidades envolvendo quase uma centena de canteiros em diversos estados brasileiros, a qual teve apoio da FINEP–Programa Habitar, do SENAI e do ITQC, obteve indicadores de perdas de materiais bastante representativos e comparáveis, uma vez que foi adotada a mesma metodologia de coleta, processamento e análise.

Embora a parcela relativa ao entulho não tenha sido mensurada diretamente no canteiro de obras, a análise do conjunto de indicadores obtidos no âmbito desta pesquisa permite a estimativa do entulho gerado.

Apresenta-se, inicialmente os conceitos adotados pela pesquisa, no tocante a indicadores de perdas/consumo de materiais. Após tal explanação, apresenta-se os dados de perdas obtidos as considerações adotadas para estimativa do entulho. Por fim, estima-se o entulho gerado por m² construído.

2. PROCEDIMENTOS ADOTADOS NO PROCESSO DE ESTIMATIVA DO ENTULHO

2.1. Indicadores: Conceitos adotados

Dentre os vários resultados obtidos no âmbito da pesquisa nacional FINEP/PCC/ITQC, destaca-se o estabelecimento de uma rede de indicadores que possibilitou o entendimento das principais parcelas de perdas ao longo do fluxograma dos processos, ou seja, ao longo das etapas pelas quais os materiais percorrem no canteiro de obras até se tornarem parte integrante da edificação (Figura 2.1).

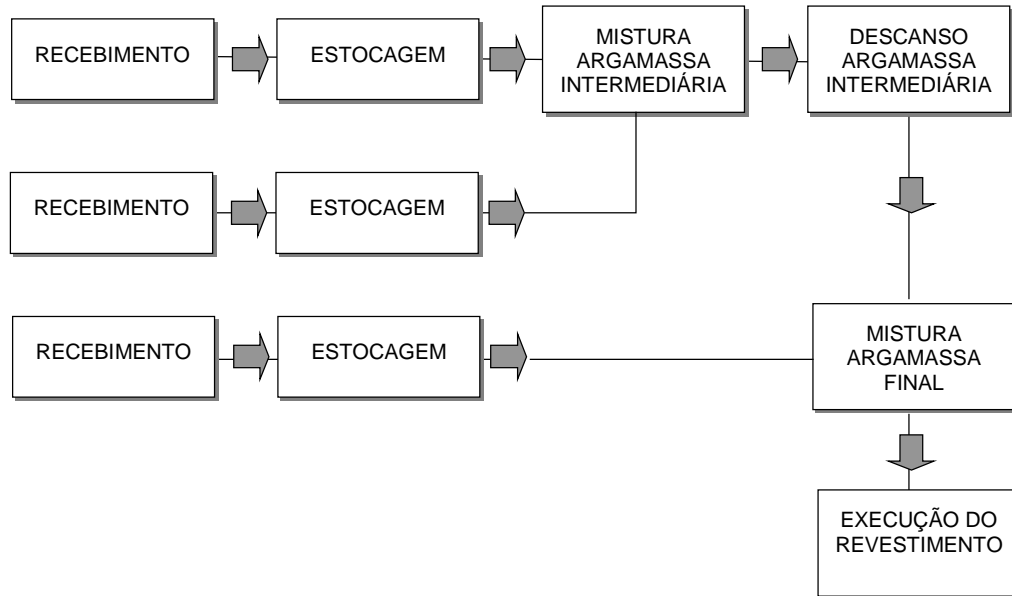


Figura 2.1 Exemplo de fluxograma dos processos – execução do revestimento interno/externo utilizando-se argamassa produzida em obra (SOUZA, 1997)

Esta rede de indicadores é composta por indicadores globais (que abrangem mais de uma etapa do fluxograma dos processos) e indicadores parciais (referem-se a apenas uma etapa do fluxograma dos processos), conforme ilustrado na Figura 2.2 (PALIARI, 1999).

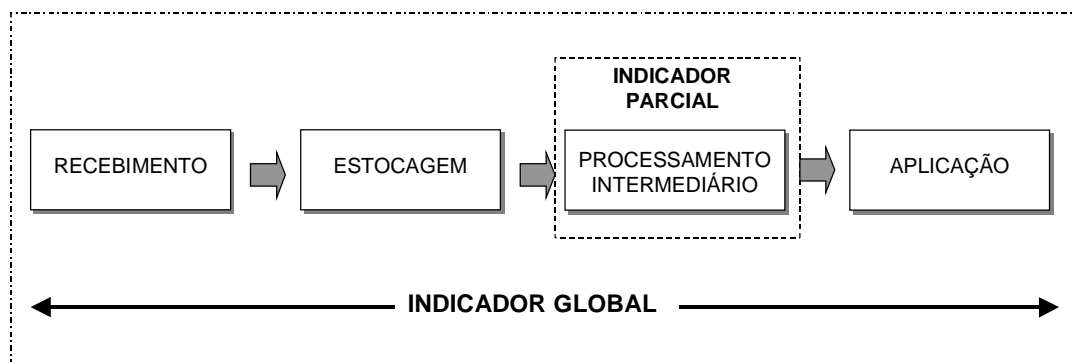


Figura 2.2 Classificação dos indicadores de perdas segundo a sua abrangência (PALIARI, 1999)

A Tabela 2.1 traz um exemplo de uma rede de indicadores para o caso do concreto usinado utilizado em estruturas de concreto armado.

Tabela 2.1 Exemplo de indicadores para o caso do concreto usinado

← INDICADOR GLOBAL →			
	Recebimento	Transporte	Aplicação
INDICADORES PARCIAIS	✓ Diferença entre a quantidade entregue e a nota fiscal	✓ Entulho durante o transporte	✓ Variação dimensional das lajes
	✓ Entulho referente a sobras do caminhão		✓ Variação dimensional das vigas
			✓ Variação dimensional dos pilares
			✓ Entulho durante o lançamento

Os indicadores globais cumprem a função de representar o desempenho geral quanto ao uso de um determinado material durante a execução de um serviço, enquanto que os indicadores parciais visam identificar em qual etapa do fluxograma dos processos (recebimento, estocagem, transporte, processamento intermediário e processamento final) as perdas são mais significativas.

Os indicadores parciais associados aos indicadores globais permitem ainda o cálculo da parcela de perdas relativa ao entulho e ao material que fica incorporado ao elemento construtivo. Além de incidir sobre a forma de entulho e de material incorporado ao elemento construtivo, a perda física de material pode ocorrer devido à roubos (ANDRADE, 1999).

Na Tabela 2.2 ilustra-se o cálculo da perda global e dos indicadores parciais relativos ao material concreto usinado, utilizado na execução de superestruturas, que permite calcular a parcela referente ao entulho.

Tabela 2.2 Resultados de indicadores – concreto usinado (exemplo)

PAVIMENTO	Elemento Estrutural	1		2		3=2-1		4=3/1*100		Diferença Receb. (m3)	Sobras Receb. (m3)	Variação Seção Pilar (m3)	Variação Largura Viga (m3)	Variação Espessura Laje (m3)	Outros (m3)
		Volume Projeto (m3)	Nota Fiscal (m3)	Perdas (m3)	Perdas (%)										
2o. Pav.	Pilares	30	32	2	7	0	0,5	1	-	-	0,5				
	Vigas e Lajes	70	76	6	9	0	1	-	0,5	1	3,5				
	TOTAL	100	108	8	8	0	1,5	1	0,5	1	4				
3o. Pav.	Pilares	30	31	1	3	0	0	1	-	-	0				
	Vigas e Lajes	70	74	4	6	0	0,5	-	1	1,5	1				
	TOTAL	100	105	5	5	0	0,5	1	1	1,5	1				
.				
.				
.				
8o. Pav.	Pilares	30	30,5	0,5	2	0	0	0,5	-	-	0				
	Vigas e Lajes	70	72	2	3	0	0	-	0	1	1				
	TOTAL	100	102,5	2,5	3	0	0	0,5	0	1	1				

No caso do concreto usinado, a parcela relativa às variações dimensionais da estrutura, representam a parcela incorporada, as sobras ao final da concretagem representam o entulho gerado e a utilização de concreto para outros fins que não o previsto, no exemplo citado: execução de superestrutura de um pavimento, encontra-se no item outros.

O cálculo do indicador global é feito de acordo com a equação 2.1 enquanto que a estimativa de entulho é obtida multiplicando-se o indicador global pela porcentagem relativa ao entulho (equação 2.2)

$$Indicador_{global} \left(\frac{unidade_{material}}{unidade_{serviço}} \right) = Consumo_{real} - Consumo_{referência} \quad (2.1)$$

No caso apresentado na Tabela 2.2, o indicador global de perdas do 2º pavimento é de 8 m³ ou 8%.

$$Entulho \left(\frac{unidade_{material}}{unidade_{serviço}} \right) = indicador_{global} \times porcentagem_{entulho}$$

Sendo o indicador global igual às perdas em unidade de material.

A parcela de entulho, no exemplo apresentado, seria igual às sobras ao final da concretagem, as quais representam 1,5 m³, ou seja dos 8 m³ de concreto consumidos a mais, o entulho gerado representa 18,75%, ou seja, o entulho gerado nesse pavimento foi de 0,015 m³ de entulho por m³ de concreto necessário.

2.2. Estimativa do entulho a partir dos valores da pesquisa nacional

A partir da análise da rede de indicadores estabelecida para os serviços em questão, pôde-se estimar qual a parcela do valor do indicador global de perdas diz respeito ao entulho gerado. Os resultados dos indicadores globais para o conjunto de canteiros de obras estudados, assim como a parcela do mesmo referente ao entulho gerado estão apresentados na Tabela 2.3.

Note-se que em alguns casos como, por exemplo, blocos e placas cerâmicas, a parcela relativa ao entulho constitui-se na totalidade do indicador global detectado, da mesma forma que o gesso, pois em nenhuma obra se verificou sobresspessura do revestimento. Em outros casos, a parcela de entulho constitui-se em uma fração do indicador global.

No caso do concreto usinado, por exemplo, estima-se a porcentagem de entulho variando entre 10 e 20%, sendo que utilizou-se, neste trabalho, o valor de 15%.

No caso do aço, verificou-se que a maior parcela de perdas refere-se à etapa de corte, onde 70% do material se transforma em entulho.

Em relação às argamassas de revestimento, para estimar-se a fração relativa ao entulho, subtraiu-se da perda total a parcela incorporada ao elemento final.

Quanto ao contrapiso, embora se tenha detectado que a incorporação seria responsável por 79% das perdas, o número de casos onde se verificou a espessura final foi reduzido. Preferiu-se, neste trabalho, em função das observações visuais nos canteiros estudados, considerar-se que o entulho gerado representa 5% da perda total.

No caso da argamassa utilizada no serviço de execução de alvenaria, AGOPYAN et al. (1998) indicam que a sobresspessura das juntas teriam um representatividade na incorporação de. Em visitas a obras verificou-se que o valor que penetra nos blocos é bastante significativo, podendo-se considerá-lo como de igual valor ao que fica incorporado. Desta forma, considerou-se, neste artigo, que o material incorporado representa 84% do material consumido a mais, de forma que o entulho representa 16% da perda total.

Em relação ao gesso, na ausência de dados consistentes e, em função de observações em obra, adotou-se que o entulho deste material, tanto na execução de revestimento de paredes quanto de teto, representa 50% da perda global.

Tabela 2.3 Estimativa do entulho por unidade de serviço

1	2	3	4	5	6=4-5	7	8=6x7/100
Material	u.m. ⁽¹⁾	u.s. ⁽²⁾	Consumo real ^(a) (u.m./u.s.)	Consumo referência (u.m./u.s.)	Perda global (u.m./u.s.)	Entulho (% em relação à perda global)	Entulho (u.m./u.s.)
Concreto usinado	m ³	m ³	1,09	1	0,0900	15	0,014
Aço	Kg	Kg	1,11	1	0,1100	70	0,077
Blocos	m ²	m ²	1,13	1	0,13	100	0,130
Argamassa - Alvenaria	m ³	m ²	0,015	0,005 ^(b)	0,0010	16	0,002
Arg. Paredes e tetos	m ³	m ²	0,0213	0,02 ^(c)	0,0013	19	0,002
Arg. fachada	m ³	m ²	0,037	0,03 ^(c)	0,0020	18	0,001
Arg. contrapiso	m ³	m ²	0,031	0,02 ^(c)	0,0110	05	0,001
Placas cerâmicas fachada	m ²	m ²	1,13	1	0,13	100	0,130
Placas cerâmicas piso	m ²	m ²	1,19	1	0,19	100	0,190
Placas cerâmicas piso	m ²	m ²	1,13	1	0,13	100	0,130
Gesso - Paredes	m ³	m ²	0,0065	0,005 ^(d)	0,0015	50	0,001
Gesso – teto	m ³	m ²	0,0065	0,005 ^(d)	0,0015	50	0,001

(1) u.m. = unidade com que se mensura o material utilizado

(2) u.s. = unidade do serviço onde o material é utilizado

OBSERVAÇÕES:

(a) Valores medianos obtidos no âmbito da pesquisa FINEP/PCC/ITQC (AGOPYAN et al., 1998);

(b) Adotou-se o consumo de referência de 5 litros por m² de alvenaria executada;

(c) espessuras de referência adotadas: 2 cm (revestimento interno), 3 cm (revestimento externo) e 2 cm (contrapiso);

(d) adotou-se uma espessura de referência de 5 mm (0,005 m³/m²).

2.3. Estimativa da massa do entulho por m² de piso de edificação

Para o cálculo da massa de entulho por m² de piso há, inicialmente, a necessidade de se transformar os resultados obtidos para o entulho (Tabela 2.3), expressos em unidade de material por unidade de serviço executado, em unidade de material por m² de piso executado.

Esta transformação é feita utilizando-se indicadores que relacionam a quantidade de serviço executado (m² de alvenaria, m² de revestimento etc) à área de piso da edificação, apresentados no Simpósio Nacional Desperdício de

Materiais nos Canteiros de Obras: a quebra do mito, para uma edificação padrão de múltiplos andares.

Finalmente, a massa do entulho por m² de piso executado é obtida multiplicando-se os valores de entulho por m² de piso pela massa de entulho por unidade de material. A Tabela 2.4 traz os valores de entulho por m² de piso executado.

Tabela 2.4 Estimativa do entulho por m² de piso executado

	9	10	11=8	12=10x11	14	15=12X14
Material	QS/m ² piso ^(a)	Entulho/ unidade de serviço	Entulho/m ² piso	Massa de entulho por unidade de material ^(a)	Massa entulho/m ² piso	
Concreto usinado	0,18	0,014	0,0024 m ³	2200 kg/m ³	5,35	
Aço	18^(b)	0,077	1,3860 kg	1 kg/kg	1,39	
Blocos	1,6	0,130	0,2080 m ²	75 kg/m ²	15,60	
Argamassa - Alvenaria	1,6	0,002	0,0028 m ³	1800 kg/m ³	5,07	
Arg. Paredes e tetos	3,25	0,002	0,0074 m ³	1800 kg/m ³	13,34	
Arg. fachada	0,75	0,001	0,0004 m ³	1800 kg/m ³	0,73	
Arg. contrapiso	1	0,001	0,0006 m ³	1900 kg/m ³	1,05	
Placas cerâmicas fachada	0,75	0,130	0,0975 m ²	20 kg/m ²	1,95	
Placas cerâmicas piso	0,2	0,190	0,0380 m ²	20 kg/m ²	0,76	
Placas cerâmicas piso	1	0,130	0,1300 m ²	20 kg/m ²	2,60	
Gesso - Paredes	2,3	0,001	0,0012 m ³	1067 kg/m ³	1,23	
Gesso - teto	1	0,001	0,0005 m ³	1067 kg/m ³	0,53	
					Kg/m²	49,58

Observações:

(a) Valores apresentados no Simpósio Nacional de Desperdício de Materiais: a quebra do mito (1999);

(b) é igual a $100 \text{ kg}_{\text{aço}}/\text{m}^3_{\text{concreto}} \times 0,18 \text{ m}^3_{\text{concreto}}/\text{m}^2_{\text{piso}}$, ou seja $18 \text{ kg}_{\text{aço}}/\text{m}^2_{\text{piso}}$;

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O indicador de entulho obtido é inferior ao estimado por PINTO (1999), cujo valor da quantidade de entulho gerado por m² de construção, tendo como base edificações, executadas predominantemente por processos convencionais, foi de 150 kg/m² construído. Cabe ressaltar, no entanto, que este valor inclui tanto edificações novas quanto reformas.

Cabe lembrar que, além do problema de local para deposição do entulho gerado, há a agressão dupla à natureza nesse processo, tanto pelo aspecto da deposição quanto pela retirada desnecessária de recursos naturais, cujo agravante reside no fato de que a construção civil consome uma grande parcela dos recursos naturais de uma sociedade, pois, segundo JOHN (1999), ao citar um trabalho da Industry and Environment, datado de 1996, de todos os recursos extraídos da natureza, um percentual de 15 a 50% é destinado à indústria da construção civil.

Além disso, considerando a massa do edifício igual a 1000 kg/m², o entulho gerado, considerando os valores medianos de perdas obtidos na pesquisa FINEP/PCC/ITQC, representa, aproximadamente 5,0% da massa do edifício.

Desta forma, torna-se primordial que todo canteiro tenha uma preocupação com o entulho gerado pela obra, buscando minimizar sua geração e pensando no destino a ser dado ao mesmo, obedecendo a requisitos advindos dos pontos de vista financeiro e ambiental.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, V. et al, coord. (a) Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras: relatório final. São Paulo, EPUSP/PCC, 1998. v.1 a v.5.
- ANDRADE, A. C. Método para quantificação das perdas de materiais em obras de construção de edifícios: superestrutura e alvenaria. São Paulo, 1999. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- BRITO FILHO, J. A. Cidades versus entulhos. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, IBRACON, 1999. P.56-67.
- JOHN, V. M. Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. Anais. São Paulo, IBRACON, 1999. P.44-55.
- HONG KONG POLYTECHNIC (Department of Building and Real Estate); THE HONG KONG CONSTRUCTION ASSOCIATION LTD. Reduction of Construction Waste, Final Report. Hong Kong, mar, 1993, 93p.
- PALIARI, J. C. Metodologia para a coleta e análise de informações sobre consumos e perdas de materiais e componentes nos canteiros de obras. São Paulo, 1999. 473 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PINTO, T. P. Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil: situação atual. In: WORKSHOP RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. São Paulo, 1996, PCC-USP/NPC-UFSC. Anais. São Paulo, 1996, p.159-70.

PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SOUZA, U.E.L. Redução do desperdício de argamassa através do controle do consumo em obra. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. ANTAC, Salvador-BA, 1997, pp 459-468.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de doutorado concedida a um dos autores deste artigo, assim como à FINEP e SENAI-BA pelo financiamento da pesquisa realizada.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

ESTAÇÕES DE CLASSIFICAÇÃO E TRANSBORDO NA CIDADE DE SÃO PAULO

FERRAZ, Gentil Ribeiro (1); **MASSUDA**, Oswaldo (2); **ASSIS**, Cássia S.;
OLIVEIRA, Márcio J. Estefano; **ZAMATARO**, Rosemary S.I.; **PIRES**, Maria
Aparecida F.; **OLIVEIRA**, Mirian Cruxên B.; **AMORIM**, Aldo S. (3)

- (1) Coordenador da Estação de Classificação e Transbordo do Jaçanã. Rua Alvorada do Oeste, 69 – São Paulo – SP – CEP 02263-110
- (2) Coordenador da Estação de Classificação e Transbordo da Freguesia do Ó. Avenida Elísio Teixeira Leite, 3338 – São Paulo – SP – CEP 02810-000
- (3) Membros do Comitê Técnico 206 – Meio Ambiente - IBRACON

Palavras-chave: Resíduos minerais, estações de transbordo, reciclagem, meio ambiente.

RESUMO

A geração de resíduos de construção, demolição e reformas no Município de São Paulo assume proporções gigantescas e só tende a aumentar, uma vez que a vida útil de muitas obras em concreto armado já atinge seu limite. Para dar destinação ao material excedente, produto das atividades de construção, demolição e reforma são convocadas as empresas de transporte que dispõem de caminhões poliguindastes com caçambas estacionárias. A Prefeitura Municipal de São Paulo regulamenta a atividade destas empresas através do Decreto nº. 37.952 de 10 de maio de 1999 considerando que as mesmas estão autorizadas a efetuar a coleta, transporte e destinação final dos materiais não abrangidos pela coleta regular e devem encaminhar o produto da coleta ao aterro de inertes do Município que se localiza na cava da antiga Pedreira de Itaquera. Existem, hoje, aproximadamente 400 empresas cadastradas e estima-se que este número possa ser majorado em 70% se forem considerados os coletores clandestinos. Para organizar e diminuir os custos de transporte algumas empresas se organizaram em associações com o objetivo de viabilizar a deposição final dos resíduos “inertes” em Itaquera, para tanto constituíram as estações de classificação e transbordo, onde todo o material coletado é segregado e encaminhado para reutilização e reciclagem e a fração “inerte” segue em caminhões de grande porte para Itaquera.

1. INTRODUÇÃO

Estimativas recentes da Prefeitura do Município de São Paulo, Departamento de Limpeza Urbana – LIMPURB, indicam que são gerados 144.000 m³ por mês de material recolhido por caçambas estacionárias na Cidade de São Paulo. Já as estatísticas não oficiais sugerem a geração de 326.000 m³ por mês.

O procedimento usual dos municípios, ao efetuarem uma construção nova, uma reforma ou demolição é, ao final de uma determinada etapa ou ao fim da obra, dependendo do tamanho da mesma, chamar uma caçamba e depositar todos os rejeitos. Observa-se, no entanto, que as caçambas recebem toda sorte de rejeitos, desde resíduos de construção propriamente dito até rejeitos de podas e objetos indesejados como sofás e armários quebrados.

O material recolhido pelas caçambas varia de composição dependendo da região em que estão estacionadas e do tipo de atividade que gerou sua utilização. As caçambas estacionadas na região central da cidade geralmente recebem rejeitos de obras de reforma, demolição e reconstrução, apresentando grande quantidade de restos de argamassas, concretos, tijolos e azulejos. Já as caçambas instaladas na regiões periféricas da cidade, recebem grande quantidade de solo de escavação, material proveniente de poda e limpeza de terreno, além de restos de construção de obras novas, incluindo materiais de uso mais recente na Construção Civil como por exemplo o gesso.

A diversidade de materiais recebidos pelas caçambas além das exigências na recepção no aterro motivaram a organização dos transportadores em associações, com o objetivo de criar estações de classificação e transbordo.

Existem, atualmente, duas associações de transportadores de entulho na Cidade de São Paulo: a associação que congrega as empresas das regiões noroeste e oeste e se situa no bairro da Freguesia do Ó e a associação que congrega as empresas das regiões central e norte e se situa no bairro do Jaçanã.

A associação que se situa no bairro da Freguesia do Ó conta com 30 empresas participantes, todas cadastradas na Prefeitura Municipal de São Paulo e tem um volume de material coletado de 7.000 m³/mês. Já a associação que se situa no bairro do Jaçanã congrega 9 empresas cadastradas na PMSP e trabalha com um volume coletado de 4.800 m³/mês.

Um dos maiores problemas enfrentados pelos operadores das caçambas é a existência de um único aterro dito de “inertes” na Cidade de São Paulo, localizado na zona leste, na cava da antiga Pedreira de Itaquera.

Nem todo o material coletado pelas caçambas pode ser destinado ao aterro de “inertes” pois o mesmo só recebe a descarga do material classificado como entulho, composto de argamassas, tijolos, concretos e solo de escavação. Assim é que, na prática, as caçambas não podem descarregar diretamente no aterro, havendo necessidade de classificar e separar o material antes da destinação final.

Desta forma as estações de classificação e transbordo acabam sendo uma etapa obrigatória para garantir a recepção de resíduos “inertes” no aterro de Itaquera. Além disso o longo trajeto a percorrer e as dificuldades de trânsito

entre as regiões de coleta e a destinação final produzem um enorme gasto em combustível e manutenção dos caminhões. Ao fazer o transbordo, os resíduos passam a ser transportados em caminhões com capacidade igual a 15 m³, diminuindo as despesas de transporte, uma vez que as caçambas transportam um volume igual a 4 m³.

2. OBJETIVOS

A criação da Associação dos Transportadores de Entulho visa organizar e atender as empresas coletoras cadastradas na Prefeitura do Município de São Paulo de modo a viabilizar a destinação final do material coletado.

As Estações de Classificação e Transbordo têm como objetivo a segregação, classificação e transporte dos resíduos “inertes” para o aterro da Prefeitura Municipal de São Paulo, bem como o encaminhamento para reciclagem, reaproveitamento e reutilização dos demais materiais presentes no entulho.

3. METODOLOGIA

3.1. Estação de Classificação e Transbordo da Freguesia do Ó

Os resíduos coletados pelas empresas de transporte de entulho compõem-se dos seguintes materiais:

Inertes	65%
Madeira	13%
Plástico	8%
Outros	14%

São considerados como componentes da fração “inerte”, os resíduos de materiais de construção como argamassas, concretos, tijolos, telhas e a fração solo proveniente de escavações.

Estes materiais recebem esta denominação em função da classificação proposta pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT: “Resíduos classe III (inertes), são quaisquer resíduos que quando amostrados de forma representativa, (segundo NBR 10.007) – Amostragem de resíduos, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, (segundo NBR 10.006) – Solubilização de resíduos, não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Como exemplo desses materiais, pode-se citar: rochas, tijolos, vidros e certos plásticos”.

O sistema de caçambas estacionárias recebe praticamente todo o material não coletado pelo serviço de coleta regular de resíduos domiciliares e de resíduos

de serviço de saúde, assim é muito grande a quantidade de resíduos sólidos classificados como “inertes”.

O material que chega em caçambas à Estação de Classificação e Transbordo é inicialmente descarregado em pilhas como mostra a Figura 1.



Figura 1 – Recepção do material trazido pelas caçambas

Em seguida os funcionários da Estação de Classificação e Transbordo promovem a segregação do material, separando manualmente o material considerado “não inerte”, Figura 2, do “inerte” que permanece na pilha.



Figura 2 – Separação e classificação do material

A fração “não inerte” tem que ser classificada para poder ser enviada para as empresas recicladoras como é o caso das sucatas metálicas, dos papéis e

papelões e dos plásticos recicláveis. O material que aparece com maior frequência é a madeira que é reutilizável e facilmente separável do restante dos resíduos.

A Figura 3 mostra os materiais cuja destinação final ainda não está resolvida, pois se trata da fração não reaproveitável do material coletado. Este material não pode ir para o aterro de inertes pois está muito longe de poder ser classificado como tal e não existe, até o momento, indicações para seu reaproveitamento e reciclagem.



Figura 3 – Material não reaproveitável

A fração de “inertes” já segregada na pilha de depósito é então colocada em caminhão basculante com capacidade para transportar 15m³ de material, como mostra a Figura 4.



Figura 4 – A pá carregadeira despeja os resíduos no caminhão basculante

O caminhão parte da Estação para cruzar a Cidade de São Paulo utilizando a Marginal do Rio Tietê até chegar ao seu destino que é o aterro de inertes em Itaquera.

Dos materiais classificados, o que tem, até o momento, destinação garantida é a madeira que aparece em quantidade considerável nas caçambas de coleta, 13% do total, e está sendo totalmente reutilizada. O procedimento consiste em separar manualmente a madeira do material coletado e empilhá-la, para em seguida transportá-la até as olarias que levam o lote para queima em fornos utilizados na fabricação de tijolos. A Estação de Classificação e Transbordo já está reaproveitando 910 m³ mês de madeira.

Existe, no caso da madeira, a intenção de, num breve futuro, elaborar um projeto junto com o SENAI para utilização da madeira de melhor qualidade para confecção de móveis e utensílios

O plástico é vendido em massa para empresas recicladoras deste tipo de material e já representa 10 toneladas mês.

As sucatas metálicas são vendidas às empresas que posteriormente as repassam para a indústria siderúrgica e representam 18 toneladas mês.

Os papéis e papelões separados na Estação de Classificação e Transbordo são vendidos para sucateiros de aparas que revendem à indústria de papel e celulose e representam 4 toneladas mês.

O vidro encaminhado para empresas recicladoras aparece com uma quantidade de 1 tonelada mês.

Da comercialização destes materiais segregados e classificados a Estação de Classificação e Transbordo consegue manter 8 empregos diretos e equipamentos numa área alugada de 3.000 m².

3.2. Estação de Classificação e Transbordo do Jaçanã

A Estação de Classificação e Transbordo do Jaçanã foi a primeira estação a ser criada pelas empresas transportadoras de entulho, encontra-se numa fase mais avançada de implantação e conseqüentemente mais sofisticada no aspecto operacional.

Os caminhões poliguindastes com as caçambas carregadas chegam com facilidade ao local que se situa numa rua marginal à Rodovia Fernão Dias, assim o fácil acesso permite que a descarga seja feita rapidamente e principalmente possibilita que os caminhões basculantes de grande porte, que fazem o transporte dos resíduos “inertes” até o aterro de Itaquera, façam o trajeto utilizando apenas vias expressas.

A Estação de Classificação e Transbordo implantada numa área alugada de de 2.700m², dispõe de uma área útil de 2.400m² para movimentação, classificação e armazenamento temporário do material coletado.

Todas as empresas cooperadas são cadastradas na Prefeitura do Município de São Paulo, não sendo permitida a participação de empresas clandestinas. Atualmente o atendimento está limitado a 9 (nove) empresas, movimentando 1.200 caçambas por mês.

O objetivo, no presente momento, é levantar os dados necessários para o fornecimento de parâmetros quantitativos referentes à operação no período de um mês para uma avaliação da sustentabilidade do sistema.

A Figura 5 mostra a descarga de uma caçamba na Estação para posterior classificação e armazenamento temporário



Figura 5 – Descarga de material coletado

Após a chegada, o material é separado e selecionado sendo encaminhado para as baias, de acordo com os itens pré estabelecidos. A classificação é feita manualmente por pessoas carentes, moradoras da própria região, cuja remuneração é feita por produtividade a partir da comercialização destes materiais classificados, ditos retornáveis. A Figura 6 mostra a separação dos plásticos acondicionados em sacos para enviar à empresa recicladora.



Figura 6 – Plásticos já classificados e acondicionados

O PVC representa 40% do total de plástico classificado. Os levantamentos feitos até o momento indicam 1.200 kg de PVC por mês até o momento,

vendidos a R\$ 0,40 o quilo, enquanto os outros plásticos são comercializados por R\$ 0,07 o quilo.

A Figura 7 mostra o papel selecionado do material coletado que segue para a reciclagem, a medição indica de 3.000 kg a 3.200 kg comercializados à razão de R\$ 0,11 o quilo.



Figura 7 – Papel classificado

O vidro obtido precisa ser sempre reclassificado porque as garrafas desenhadas são recompradas pelas empresas de envasamento por R\$ 0,11 a unidade. As garrafas comuns alcançam R\$ 0,09 o quilo e o vidro comum é revendido por R\$ 0,02 o quilo. A Figura 8 mostra a área destinada aos vidros.



Figura 8 – Área de separação do vidro

Os materiais que possuem maior valor agregado e respondem por praticamente toda a receita do empreendimento são a sucata metálica de metais ferrosos e não ferrosos. Os metais não ferrosos são revendidos a R\$1,80 o quilo e os metais ferrosos a R\$ 0,11 o quilo. A Figura 9 mostra o “container” de sucata metálica.



Figura 9 – Sucata metálica

A madeira representa um problema de destinação parcialmente resolvido porque se apresenta em grande quantidade, como mostra a Figura 10, mas ainda não possui um valor agregado. A solução obtida, até o presente momento, é a queima em olarias que retiram a madeira na Estação, mas nada pagam.



Figura 10 – Madeira classificada à espera do transbordo para as olarias

O material “não-classificado” cujo montante é de 84% do total, mostrado na Figura 11, corresponde aos resíduos classificados como “inertes” e representam um custo alto por envolver gastos referentes à operação de uma pá-carregadeira (locação e manutenção) e transporte realizado por caminhões de capacidade de carga de 15m³ que fazem o trajeto até o aterro de Itaquera.



Figura 11 – Pilha de material “inerte”

O material que sobra de todo o processo, Figura 12, e não pode ser classificado como “inerte” está sendo enviado para uma fábrica de cimento na Zona Leste da cidade, localizada próximo a São Miguel Paulista, onde se acredita que este material esteja sendo queimado nos fornos.



Figura 12 – Material não reaproveitável

A equipe que trabalha na Estação de Transbordo do Jaçanã é composta de 9 pessoas a saber: 1 apontador, 4 separadores dedicados ao ferro, papelão e madeira, 1 operador da pá-carregadeira, 2 separadores de plástico e 1 motorista de caminhão.

O sistema operacional da Estação prevê que o prazo máximo de armazenamento dos materiais está entre 3 e 4 dias.

4. COMENTÁRIOS FINAIS

Os objetivos inicialmente propostos pela associação dos transportadores de entulho de organizar e atender as empresas cooperadas com o intuito de dar a destinação correta ao material coletado está, em sua primeira fase, dando bons resultados.

Em razão da distância e das exigências do único aterro oficial de “inertes” do Município de São Paulo, foi necessário estabelecer Estações de Classificação e Transbordo para viabilizar o trabalho das empresas coletoras.

A destinação final correta dos diversos componentes do entulho implica na minimização das agressões ao meio ambiente e colabora com a melhoria da qualidade de vida da comunidade em uma região urbana tão densamente povoada.

Outro benefício que representa a implantação das Estações de Classificação e Transbordo é a geração de empregos junto às comunidades carentes da região que fornecem mão-de-obra para a etapa de segregação e classificação do material.

Cada caçamba transportada por caminhão poliguindaste tem capacidade igual a 4m³. O transbordo para caminhões basculantes de grande porte, com capacidade igual a 15m³, diminui em mais de 70% o volume de caminhões transportadores de “inertes” em circulação na Marginal do Rio Tietê com destino ao aterro de Itaquera, diminuindo a poluição e favorecendo as condições de tráfego. Isto significa um grande investimento em qualidade de vida para a população que deveria ser incentivado pela Prefeitura.

Como objetivo de médio prazo, as associações de transportadores têm intenção de implantar usinas de entulho para beneficiar e reciclar os rejeitos passíveis de serem reutilizados na Construção Civil e na pavimentação de vias públicas, agregando valor a estes resíduos e diminuindo os deslocamentos até a destinação final.

Para garantir a continuidade do trabalho ora exposto faz-se necessário que o poder público atue como agente fiscalizador que é, ou seja, que não se permitida a atividade de caçambas clandestinas e que sejam atuadas as empresas que, mesmo cadastradas, não se preocupem com a destinação irregular. Algumas empresas que iniciaram a participação nas Estações de Classificação e Transbordo já desistiram da empreitada pela “facilidade” de dispor em lixões irregulares. Além disso, é necessário que o gerador de pequeno ou grande porte seja alertado da sua co-responsabilidade na destinação dos resíduos e só utilize serviços que dêem garantias quanto à destinação ambientalmente satisfatória.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSIS, C. S. ; Modelo de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos: uma Contribuição ao Planejamento Urbano. – Exame de Qualificação do programa de Doutorado do IGCE/UNESP, Rio Claro, SP, Brasil, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.; Resíduos sólidos – classificação - NBR 10004. São Paulo, SP, Brasil, 1987.
- BRITO FILHO, J. A.; Cidade versus Entulho. In: Anais do II Seminário: Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil – CT206/IBRACON, S.P., 1999.
- CALDERONI, S.; Os bilhões perdidos no lixo. Ed. Humanitas, São Paulo, 1999.
- D'ALMEIDA, M.L.O. & VILHENA, A.; Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado. Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, CEMPRE, 2^a. Edição, São Paulo, SP, Brasil, 2000.
- DE BAPTISTI, E. ; HACHEN, F.; Pedreira Itaquera : Metamorfose da Mineração. Uma breve história sobre a “Pedreira de Itaquera”. In: Anais do III Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil: Práticas Recomendadas – IBRACON – S.P., 2000.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

RESÍDUOS DE CONCRETO: CLASSE III VERSUS CLASSE II

OLIVEIRA, Márcio J. Estefano (1); **MATTOS**, Juércio Tavares (2); **ASSIS**, Cássia Silveira (3)

- (1) Doutorando Pesquisador em Geociências e Meio Ambiente pelo IG/UNESP; MSc. pela EPUSP – Departamento Engenharia de Construção Civil e Urbana - USP; Professor do Departamento de Engenharia Civil da UNESP e da UNITAU; membro do Comitê de Construção Civil e Meio Ambiente , CT-206 do IBRACON. mcconsul@uol.com.br ; estefano@feg.unesp.br
- (2) Doutor Pesquisador em Geociências e Meio Ambiente do IG/UNESP; Professor da Pós Graduação do IG/UNESP e Professor do Departamento de Engenharia Civil da UNESP; Membro do Comitê de Bacias do Rio Paraíba do Sul e Serra da Mantiqueira. juercio@feg.unesp.br
- (3) Doutoranda Pesquisadora em Geociências e Meio Ambiente pelo IG/UNESP, MSc. pelo INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais; Professora da Escola de Engenharia Mauá; membro do CT-206 do IBRACON. mcconsul@uol.com.br

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável, meio ambiente, entulho, resíduos de construção, reciclagem.

RESUMO

O desenvolvimento das cidades brasileiras aumenta a demanda por novas moradias, ao mesmo tempo, em que surge a construção de novas indústrias, estradas e obras de arte, demonstrando que o ramo da construção civil continua em desenvolvimento. Estas obras, na maioria das vezes, são projetadas e construídas sem levar em conta os impactos ambientais que cada vez mais agredem o meio ambiente, principalmente pela produção de grande quantidade de entulho depositada em lixões e parte deste material é abandonada em locais inadequados, quase sempre clandestinos, provocando danos às áreas sadias como o seu esgotamento e poluição de aquíferos, outra quantidade é depositada em cursos d'água causando assoreamento das margens e poluição de suas águas. 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,

fabricados com matéria-prima de origem mineral. O interesse é estudar o efeito da água de chuva com pH baixo sobre os resíduos de concreto para o desenvolvimento de ações que minimizem os impactos ambientais.

1. INTRODUÇÃO

A quantidade de rejeitos descartados assume proporções maiores ao se considerar a produção total de entulho originada pelas perdas previstas em projeto, acrescida do desperdício ocasionado pela falta de processos construtivos racionalizados para a execução de obras civis, sistemas de coleta e tratamento de esgoto, sistemas de tratamento e de distribuição de água, obras de drenagem, pontes, produção de artefatos à base de cimento Portland, pavimentação de vias públicas, etc.. Além disso, em toda a vida útil de uma edificação são gerados resíduos, seja na fase de manutenção como na fase de reforma e adequação ao uso, e até na fase de desocupação e demolição das construções.

Além disso as obras de construção civil são projetadas para uma vida útil de cerca de 50 anos, e muitas construções estão completando o seu ciclo de utilização, quando então começarão as reformas, recuperações, demolições, novas construções para substituir as antigas, com a geração de grande quantidade de entulho.

O relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, constituída pela Organização das Nações Unidas-ONU, divulgado em 1987 com o título de Nosso Futuro Comum ou Relatório Brundtland, representa um marco no enfrentamento da questão ambiental, ao propor a perspectiva da busca do chamado desenvolvimento sustentável, ou seja, um desenvolvimento que permita à humanidade usufruir os recursos naturais sem comprometer a possibilidade de que as gerações futuras também possam fazê-lo. O Relatório apresenta diversas proposições para reduzir as ameaças à sobrevivência da humanidade, tornar viável o desenvolvimento e interromper o ciclo causal e cumulativo entre subdesenvolvimento, condições de pobreza e problemas ambientais.

Um evento significativo foi a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, realizado no Brasil na cidade do Rio de Janeiro, em junho de 1992, onde 170 países membros da ONU estiveram representados por ocasião da Rio'92 – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, e teve como resultado a Agenda 21, que trata de um acordo entre os países presentes ao encontro, de colocar em prática pelos governos, agências de desenvolvimento, Órgãos das Nações Unidas e outras entidades, um amplo programa para o desenvolvimento sustentável do Planeta.

A agenda 21 constitui um plano de ação para alcançar o desenvolvimento sustentável a médio e longo prazo, com objetivos, atividades, instrumentos e necessidades de recursos humanos e institucionais. A partir de quatro grandes temas – a questão do desenvolvimento, com suas dimensões econômicas e sociais; os desafios ambientais que tratam da conservação e gerenciamento de recursos para o desenvolvimento; o papel dos grupos sociais na organização e fortalecimento da sociedade humana; e finalmente os meios de implementação das iniciativas e projetos para a sua efetivação – são fornecidas as bases para

o encaminhamento de iniciativas voltadas à obtenção de melhores condições ambientais e de vida (BITTAR, 1999).

Os recursos minerais são a principal matéria-prima para a produção dos materiais de construção civil e a Agenda 21 não é explícita quanto a estes recursos, mas dedica na Seção II, um Capítulo aos recursos terrestres. Após cinco anos àquela Conferência, a implementação da Agenda 21 foi avaliada em evento da ONU, realizado em Nova York, no ano de 1997, conhecido como Conferência Rio+5. O documento apresentado pelo governo brasileiro na Conferência, contemplando as ações executadas na esfera federal, estadual e municipal desde 1992, reconhece que os avanços em relação ao planejamento e gestão dos recursos terrestres estão aquém das necessidades no País, tendo sido avaliados como precários.

O entulho de obra praticamente não recebeu a devida atenção em todo esse tempo permanecendo como um material considerado inerte e que pouco impacto causa ao meio ambiente. Este trabalho apresenta resultados onde é possível observar que há muitas substâncias prejudiciais ao meio nos resíduos de construção e principalmente após a ação de agentes agressivos.

2. POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os poluentes presentes na atmosfera de regiões urbanas e/ou industrializadas, entram em contato com as gotículas de chuva formando ácidos que abaixam o pH para níveis prejudiciais ao cimento Portland provocando reações que desagregam os materiais que compõem o concreto. O CO₂ presente na atmosfera quando dissolvido em água também abaixa o pH que reage com o cimento Portland, como será estudado mais adiante.

O aumento atmosférico de dióxido de carbono é consequência do desflorestamento, queima de combustíveis fósseis e da diminuição da solubilidade em água do dióxido de carbono que também elevam o aquecimento global provocando o efeito estufa, (HEIN et al., 1998; BARNETT, 2001; LEVITUS, 2001). Em geral, toda água contém um certo teor de anidrido carbônico denominado "CO₂ livre". Com o aumento do desflorestamento e da queima dos combustíveis fósseis, o anidrido carbônico "agressivo" é a quantidade de CO₂ livre na água capaz de dissolver o carbonato de cálcio formado nos poros da pasta de cimento hidratado. Mas, o que se tem observado é que as estruturas em concreto armado sob a ação de ácido carbônico se deterioram enquanto estiverem sendo atacadas pelo ácido carbônico. A Tabela 2.1 mostra o pH obtido em águas de chuva de diferentes centros urbanos, regiões industrializadas, zonas rurais e a região amazônica (MOREIRA-NORDMAN, 1987; STORTE, 1988; OLIVEIRA, 1999).

Tabela 2.1 – pH de águas de chuva

Local	PH
Oceano Índico	4,92
Alaska	4,96
Amazônia	4,84
Minnesota	5,82
Delhi	7,40
São Paulo	4,90
Santos	6,40
São José dos Campos	4,80*
Taubaté	5,00*
Guaratinguetá	5,10*
Cubatão	4,30*

(*) pH mínimo e que apresenta variação quando medido no inverno e no verão (MOREIRA-NORDMAN, 1987; STORTE, 1988; OLIVEIRA, 1999).

Como foi visto, os centros urbanos industriais estão sujeitos às chuvas ácidas. A coleta das águas de chuva na cidade de Guaratinguetá, Taubaté e São José dos Campos durante os anos de 1997 e 1998, demonstra que, nesta região, o pH varia entre 4.8 e 7.3, sendo mais baixo no inverno do que no verão. Durante o inverno há períodos mais secos e também há um aumento da poluição do ar. A água de chuva apresenta anidrido carbônico, CO₂, livre que é dissolvido dando origem ao ácido carbônico. O interesse é estudar o efeito da água de chuva com pH baixo sobre os resíduos de concreto.

3. RESÍDUOS DE CONCRETO

Concreto de demolição e de desperdício de edifícios – CDDE

Os resíduos de CDDE, concreto de demolição e desperdício de edifícios, são de edifícios de apartamentos que foram sendo construídos nas cidades de Taubaté e Guaratinguetá. Os resíduos CDDE-A, foram coletados em três edifícios situados na cidade de Taubaté. Os resíduos ficaram estocados durante os anos de 1998 e 1999, quando foram coletados e levados para o laboratório. Os resíduos foram descartados e estocados nos canteiros das próprias construções. A Foto 3.1 ilustra a forma como os resíduos eram depositados nas obras.



Figura 3.1



Figura 3.2

Os resíduos CDDE-B coletados em três edifícios que estavam sendo construídos na cidade de Guaratinguetá, ficaram estocados na obra de 1994 a 1999, quando foram coletados e enviados ao laboratório para os ensaios. Esta obra possui um ritmo muito lento de execução e hoje se encontra em fase de fechamento com alvenaria e acabamento. Ela também segue as mesmas características descritas para os resíduos CDDE-A, conforme pode ser visto na Foto 3.2.

4. ANÁLISE QUÍMICA DAS ÁGUAS DE ATAQUE AOS RESÍDUOS

4.1. Parâmetros Físico-Químicos

Dos resíduos das séries CDDE-A e CDDE-B foram produzidas as amostras CDDE-A que não sofreu ataque de chuva ácida simulado em laboratório. A série CDDE-B deu origem às amostras CDDE-B1 e CDDE-B2 que sofreram ataque por ácido carbônico durante 128 horas e 256 horas, respectivamente. Os resultados das análises químicas das águas de ataque das amostras de resíduo de concreto estão indicados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Análise química da água de ataque

PARÂMETROS	UNID	CDDE-A1	CDDE-B1	CDDE-B2
Alumínio	mg/l Al	1,060	< 0,300	0,349
Cádmio	mg/l Cd	< 0,020	< 0,020	< 0,020
Cálcio	mg/l Ca	16,300	8,950	7,630
Ferro Total	mg/l Fe	0,700	0,177	0,276
Magnésio	mg/l Mg	0,870	0,621	0,633
Manganês	mg/l Mn	0,101	0,113	0,130
Potássio	mg/l K	3,314	2,634	2,489
Sódio	mg/l Na	5,567	8,432	5,953
Sílica	mg/l Si ₂ O ₂	< 3,000	< 3,000	< 3,000
Sulfato	mg/l	< 3,000	< 3,000	< 3,000
PH	-	9,1	7,9	7,6

Obs.: Os ensaios foram realizados de acordo com a normas e Padrões Técnicos: Apha, 1995; Cetesb, 1977; Silva, 1977

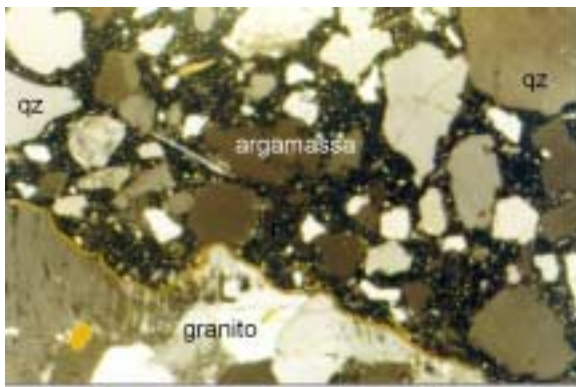
Os ensaios químicos da chuva ácida simulada, em laboratório, que passou pelas amostras de resíduos de concreto durante o ensaio mostram que há liberação de íons pertencentes ao concreto e que podem contaminar os aquíferos e o solo.

5. ANÁLISE PETROGRÁFICA E POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS X

5.1. Análise microscópica da argamassa

A argamassa mostrada na Figura 5.1 é composta por cimento criptocristalino, ocasionalmente com identificação de provável mineral sericítico disperso e grânulos compostos principalmente por quartzo (95%) e subordinadamente por microclínio, plagioclásio, muscovita, zircão e biotita (5%, juntos). São angulosos, com formatos irregulares, pouco fraturados, as fraturas são caóticas e vazias.

Resíduo de CDDE – A1



Observa-se na Figura 5.1 que a amostra de resíduo CDDE – A1 aumentada de 40 vezes, apresenta a borda de um granito (pedra britada do concreto) em contato com a argamassa. A argamassa mostra os grãos de areia e a pasta de cimento hidratada. Na interface dos grânulos com a pasta de cimento há sinais de descolamento provocado por ação de agentes agressivos ou por fuga da água de hidratação durante o tempo em que o resíduo ficou estocado.

Figura 5.1

Os grânulos de areia estão límpidos, sem alteração, suas dimensões variam da ordem de μm a 1,5mm, com média entre 0,4-0,5mm, pouquíssimo deformados com raras bandas de deformação em quartzo. Estão numa proporção aproximada de 50% de cimento e 50% de grânulos.

Resíduo de CDDE – B1

A amostra de resíduo CDDE-B1 Figura 5.2, aumentada de 40 vezes, apresenta região com abertura de poro provavelmente formado pelo ataque de ácido carbônico simulado em laboratório, durante 128 horas, através do extrator de Soxlet. Observa-se descolamento entre a pasta e os grânulos de areia, precipitação de carbonato e formação de hidróxido de cálcio formado pela cal livre presente no cimento.

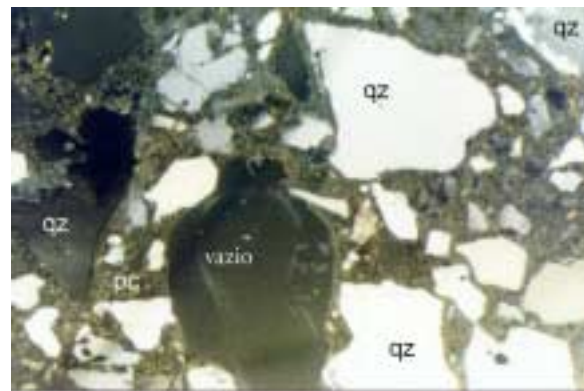


Figura 5.2

Resíduo de CDDE – B2

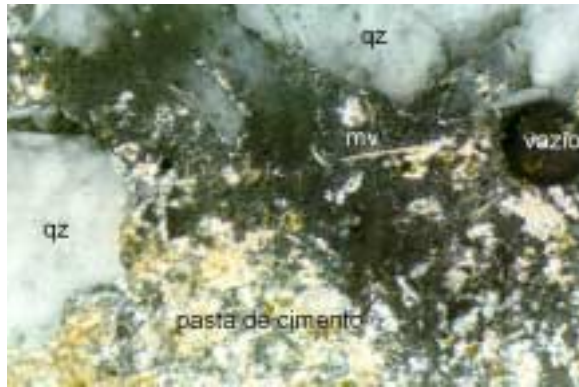


Figura 5.3

A amostra de resíduo de concreto da Figura 5.3 foi atacada com ácido carbônico por 256 horas. A amostra apresenta vazios que podem ter sido formados durante a sua fabricação como também ser proveniente do ataque acelerado. A interface entre os agregados e a pasta de cimento apresenta sinais de descolamento e de formação de hidróxido de cálcio, ambos provocados pela água de hidratação do cimento.

A Figura 5.3 mostra o resíduo CCDE-B1 que sofreu ataque de 256 horas de chuva ácida. A matriz parece maior, embora a dissolução da borda dos grânulos seja em proporção bem menor. Há uma maior precipitação de óxido de ferro. A pasta de cimento mostra a precipitação e lixiviação de hidróxido de cálcio deixando vazios na pasta de cimento. Estas alterações podem ter sido provocadas também pela idade e exposição do concreto às intempéries, aceleradas pelo ensaio de laboratório. A pasta de cimento apresenta regiões mais claras onde é evidente uma reação mais intensa e regiões mais escuras onde a pasta ainda não sofreu muito com a ação de agentes agressivos. O óxido de cálcio livre do cimento Portland dá origem ao hidróxido de cálcio que por sua vez reage com o ácido carbônico originando o bicarbonato de cálcio solúvel. Na etapa seguinte o bicarbonato solúvel se combina com o hidróxido de cálcio dando origem ao carbonato insolúvel. Sob ação continuada da chuva ácida o carbonato de cálcio é novamente atacado e todo o processo é reiniciado até a completa destruição do concreto.

5.2. Difratoograma do resíduo CDDE-B2

A amostra de resíduo CDDE-B2 submetido ao ensaio de difratometria de Raios-X mostra que o cimento possui óxido de cálcio livre o que provoca a formação de hidróxido de cálcio. Há também carbonato de cálcio e os produtos de hidratação do cimento como os silicatos de cálcio hidratados.

Difratograma do CDDE – B2

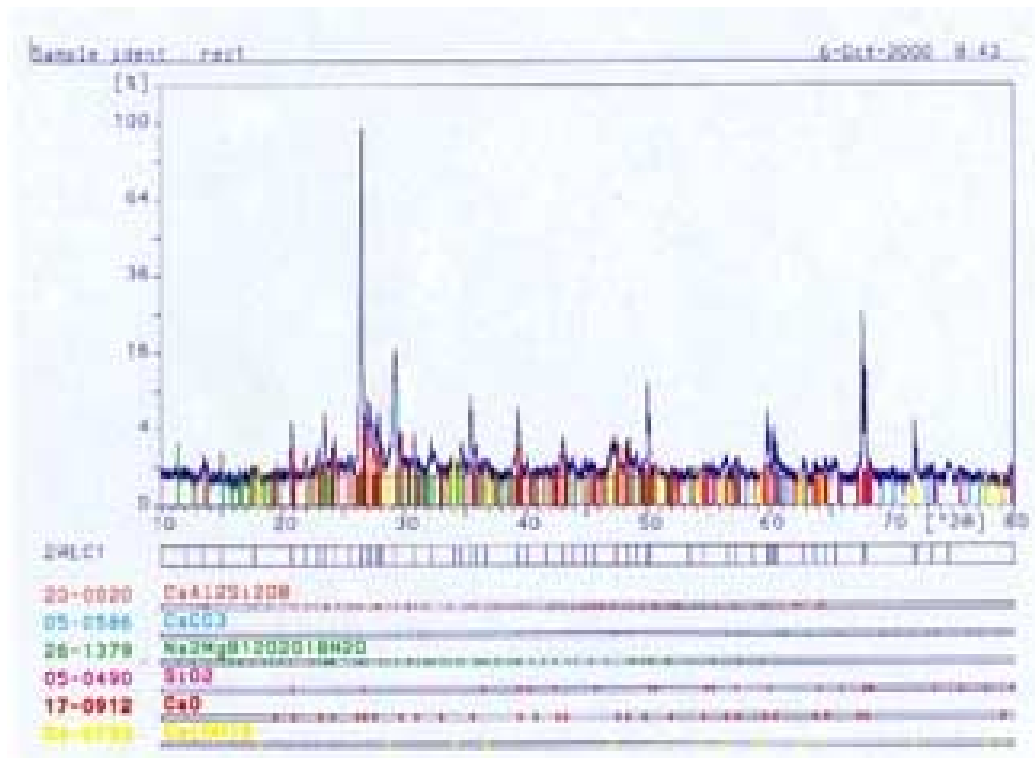


Figura 5.4 – Formação de compostos

6. COMENTÁRIOS FINAIS

O estudo constatou a necessidade da análise mais criteriosa dos resíduos de concreto descartados pelas obras de construção civil. As análises químicas e de difratometria indicaram claramente que o resíduo de concreto está longe de ser considerado um material inerte, além do que, o material descartado em locais inadequados pode provocar a contaminação das águas e conseqüentemente a sua mineralização. Os resultados obtidos sugerem a revisão da norma NBR 10004 passando os resíduos de construção da Classe III – resíduos inertes, para a Classe II – resíduos não inertes.

A reciclagem dos resíduos de concreto se apresenta como uma alternativa para o aproveitamento desta matéria prima de origem mineral para a produção de novos materiais que contribuirão para a minimização dos impactos ambientais e redução de sua extração prolongando a vida das jazidas.

Para o reuso e a reciclagem dos resíduos de concreto há que se fazer estudos para o seu emprego com segurança, para garantir a boa performance durante a sua vida útil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition (1995).
- BARNETT, T.P. Efeito estufa aumenta temperatura dos oceanos. Web site UOL, 14/04/2001, publicado pelo Jornal NY Time em 14/04/2001, Revista Science 13/04/2001
- BITAR, O. Y. Desafio a Sustentabilidade Ambiental da Mineração e Uso de Agregados Naturais em Áreas Urbanas. II Seminário: Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto. Comitê Técnico CT 206 – Meio Ambiente. IPT. Pp. 1-13, São Paulo, 1999.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, Padrões e Normas Técnicas. São Paulo, 1995.
- HEIN, M. & ARENA S. Foundations of College Chemistry. Ed. Brooks/Cole, A Division of International Thomson Publishing Inc., pp. 598. Illinois, EUA, 1996.
- LEVITUS, S. Efeito estufa aumenta temperatura dos oceanos. Web site UOL, 14/04/2001, publicado pelo Jornal NY Time em 14/04/2001, Revista Science 13/04/2001
- MOREIRA-NORDMAN, L.M. Geoquímica e Meio Ambiente. Geochimica Brasiliense, pp. 87-107, INPE, São José dos Campos, SP, 1987.
- OLIVEIRA, M.J.E e ASSIS, C.S. “Estudo para o Aproveitamento de Concretos Provenientes de Demolição de Obras de Construção Civil e seu Comportamento em Relação ao Meio Ambiente”- 41^o Congresso Brasileiro do Concreto, Anais. Salvador, BA, 1999.
- SILVA, M.O.S.A. Análise físico-químicas para controle de estações de tratamento de esgotos. Companhia de Tecnologia de Saneamento Básico – CETEB. São Paulo, 1977.
- STORTE, M. Considerando o Meio Ambiente. Revista IBRACON, Ano I, Nº 1, p. 39-41, São Paulo, 1991.

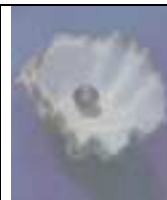
TEMA II
RECICLAGEM DE NOVOS MATERIAIS E
TÉCNICAS DE APLICAÇÕES



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE COURO CURTIDO À BASE
DE CROMO NA PRODUÇÃO DE COMPONENTES PARA A
CONSTRUÇÃO CIVIL**

RECENA, Fernando A. Piazza (1); **RESCHKE**, Juliana Soares (2)

- (1) Eng. Civil, Mestre em Eng. Civil, Professor da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- (2) Aluna do Departamento de Eng. Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: materiais de construção, compósitos, fibras de couro, fibrocimento.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Faculdade de Engenharia da PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL – PUCRS, tendo por objetivo desenvolver componentes para a construção civil a partir do emprego de resíduos de couro, provenientes das Indústrias de Artefatos de Couro. O que motivou esta pesquisa, foi a intenção de auxiliar na busca de uma solução economicamente viável para a disposição final destes resíduos, principalmente em função de seu elevado potencial em poluir o meio ambiente, já que o couro é curtido à base de cromo e não pode ser depositado de qualquer maneira em contato com o solo com risco de contaminação das águas subterrâneas. As experiências foram feitas a partir da mistura de fibras alongadas de couro com pasta de cimento Portland, na obtenção de um material composto com características próprias. Foram produzidas peças de pequena espessura que variou de 5mm até 20mm, empregadas como placas de sinalização viária, placas de piso, placas de forro, telhas planas e telhas onduladas. A análise dos resultados obtidos, permite concluir ser possível a obtenção de um tipo particular de “fibrocimento” para a produção de componentes para a construção civil, consumindo, em parte, um resíduo poluente que vem criando diversos problemas ambientais com a inadequada disposição final dada até então.

1. INTRODUÇÃO

A escassa bibliografia existente sobre o tema, que possibilitasse vislumbrar um caminho que tivesse início na conclusão de trabalhos de outros pesquisadores, determinou que se investisse um tempo na obtenção do conhecimento básico das peculiaridades dos materiais obtidos pela mistura do resíduo em tela à aglomerados de cimento Portland.

O concreto, por ser um material de grande flexibilidade, sempre é lembrado quando é necessário confinar algum produto poluente ou algum resíduo que de alguma maneira possa gerar poluição, se depositado de forma vulnerável ao intemperismo mas, principalmente, à ação lixiviante da água.

Concretos podem ser produzidos com a incorporação de resíduos como as cinzas volantes oriundas da queima de carvão vegetal, a casca de arroz ou a cinza originária de sua queima, os resíduos de plástico oriundos da indústria calçadista, a borracha de pneus e o lodo residual de estações de tratamento de esgotos, apenas para citar alguns exemplos. Claro que sempre mais interessante será o emprego destes resíduos na sua forma natural com o mínimo beneficiamento possível.

Na prática, algum tipo de beneficiamento é sempre indispensável, exigindo investimentos que, por vezes, inviabiliza o emprego do resíduo considerado.

O resíduo de couro, objeto do presente estudo, é formado basicamente por aparas da indústria de transformação, reunindo tipos diferente de couro, tamanhos e espessuras além de acabamentos variados envolvendo pigmentos, cêras ou vernizes.



Figura 1: Aspecto geral do resíduo empregado no trabalho

2. OBJETIVO

A produção de artefatos em couro gera uma quantidade significativa de resíduos estimada pelo Sindicato das Indústrias de Artefatos de Couro em 120 t/ano. Constitui um sério problema sua destinação final, tendo em vista o problema ambiental pois, além da grande quantidade, este resíduo está predisposto a liberar no ambiente, se não for convenientemente depositado, produtos tóxicos já que o curtimento é feito à base de cromo.

Alternativas simplistas tais como aterros não podem ser adotadas pois haveria a contaminação do solo e do lençol freático, seguindo por contaminar os cursos de água. A queima não é possível devido a possibilidade de liberação de cromo e outros metais pesados na atmosfera. A utilização de filtros eletroquímicos tornaria o processo tecnicamente viável, mas seu custo torna até o momento, tal medida impraticável.

A solução sugerida pelos órgãos responsáveis pela proteção do meio ambiente é a construção de aterros sanitários específicos para a deposição de resíduos industriais tóxicos, os quais oferecem toda segurança para o ambiente.

Atualmente as empresas estão depositando todos os resíduos produzidos em seus próprios pátios, por não considerarem economicamente viável a participação em tais depósitos especiais. Como não foi encontrada até o momento nenhuma solução para a utilização dos resíduos referidos, as indústrias continuam a aumentar seus estoques. Assim, o objetivo da pesquisa foi o de estudar a viabilidade técnica, do emprego de alguns destes resíduos na composição de artefatos de concreto empregados na construção civil.

3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Como alternativa, optou-se por estudar uma forma de beneficiamento do resíduo para que este pudesse ser incorporado a uma matriz de maneira a introduzir algum tipo de ganho na obtenção de um material composto de melhor desempenho sinérgico. Na intenção de transformar o resíduo em uma matéria prima, buscou-se uma maneira de fragmentá-lo reduzindo-o a fibras alongadas que, de alguma forma, pudessem, ao serem incorporadas ao concreto, modificar-lhe algumas características.

Assim, o desenvolvimento do trabalho concentrou-se no emprego do resíduo identificado por “nobuck”, escolhido a partir de experiências realizadas com a utilização de mais um resíduo, identificado por “fênix”, que em comparação ao escolhido, originou materiais de inferior resistência mecânica.

As primeiras experiências foram feitas com pasta de cimento para diminuir o número de variáveis envolvidas. De forma aleatória foram produzidas algumas misturas com sucesso, tendo-se obtido um material denso e homogêneo a partir da incorporação de um volume significativo de fibras. Em algumas misturas foi observado um retardamento muito grande no tempo de pega, resultado do baixo valor do pH do resíduo desfibrado que indicou 3,7, inviabilizando qualquer procedimento industrial já que certamente envolveria uma utilização antieconômica de formas. Também observou-se que a resistência mecânica apresentava-se diminuída.

Foram preparadas misturas com percentagens variáveis de fibras de couro adicionadas à pasta de cimento. A variável de controle foi a possibilidade de manusear a peça moldada dentro de um período compreendido entre 12 e 20 horas, tendo já como foco a possibilidade de uma utilização industrial.

No presente caso acreditamos que parte do hidróxido de cálcio é consumida na reação de neutralização dos compostos ácidos do resíduo, liberados pela água de amassamento da pasta. A partir de uma certa quantidade de fibras de couro o consumo de hidróxido de cálcio é de tal ordem que compromete as reações de hidratação do cimento. Como existem tipos diferentes de cimento inclusive aproveitando este hidróxido de cálcio em reações pozolânicas, a percentagem de adição de fibras de couro variará com a quantidade de hidróxido de cálcio disponível em cada caso, ou seja variará com o tipo de cimento.

Foi empregada uma quantidade de cal hidratada, inicialmente com a finalidade de aumentar a coesão e, conseqüentemente, a trabalhabilidade da mistura. No entanto, a esta finalidade foi associada a de constituir-se em agente de neutralização da acidez do meio aquoso. Entretanto, em função de seu preço no mercado, o efeito desejado pode ser obtido com a adição de mais cimento com claras melhorias no produto final devido ao baixo rendimento da cal como aglomerante, se avaliado quanto à resistência mecânica. Continuou-se a incorporar uma certa quantidade de cal à mistura mas com a finalidade apenas de aumentar a trabalhabilidade, já que seu rendimento como agente plastificante, é em muitas vezes superior ao proporcionado pelo cimento, fato que justificou sua manutenção nas misturas.

Foi feita uma tentativa de regular o tempo de início de pega pelo emprego de um aditivo acelerador. O aditivo estudado foi o cloreto de cálcio CaCl_2 , adicionado às misturas em proporções calculadas sobre a massa de cimento, assim como recomendado para concretos e argamassas. Para obter-se resultados animadores, foi necessário o emprego do aditivo em percentagens elevadas, gerando custos adicionais e dificultando a interpretação dos resultados do material em estudo.

Em função da aleatoriedade com que percebeu-se as perturbações no tempo de pega, optou-se por reduzir a proporção de couro, em massa, nas misturas, definindo-se um traço único para a continuidade da pesquisa. O proporcionamento definido como padrão para a continuidade do trabalho foi então:

Tabela 1 - Traços utilizados

Material	Quantidade (g)
Fibras de couro	70
Cal	70
Cimento	3500

Nesta etapa foram feitas experiências com o emprego de aditivos comerciais para concretos e argamassas com a finalidade de aumentar a dispersão das fibras na matriz de pasta.

Aditivos incorporadores de ar apresentaram bons resultados embora determinassem perda de resistência mecânica e drástico aumento na porosidade superficial das peças produzidas, comprometendo o acabamento. Como fato positivo, a incorporação intencional de ar permite uma redução na massa específica o que poderá vir a constituir-se numa propriedade importante na obtenção de materiais com características de isolamento térmico.

O uso de aditivos superplastificantes apresentou-se mais promissor, visto facilitarem a dispersão das fibras e reduzirem a exigência de água. Diante do melhor aspecto das peças produzidas com tal aditivo e, principalmente, pela maior facilidade durante a operação de mistura, optou-se por seu emprego de forma definitiva.

Definido assim o material, passou-se de imediato à produção de peças planas e de corpos-de-prova cilíndricos com 50mm de diâmetro e 100mm de altura. As placas planas foram estabelecidas como referência tendo-se em mente formas e dimensões que sugerissem sempre peças lamelares de pequeno volume, já que o emprego de elevados teores de cimento determinaria um elevado custo, se comparado ao concreto convencional. Desta maneira, a viabilidade econômica estaria vinculada à obtenção em escala industrial de peças de pequeno volume.

4. ENSAIOS REALIZADOS

Foram produzidas peças com dimensões aproximadas de (300x300x15)mm as quais foram identificadas como placas-de-prova . Estas peças foram produzidas por adensamento manual em analogia ao procedimento empregado na preparação dos corpos-de-prova cilíndricos segundo à NBR-7215/97, tomando-se como ponto de partida o traço definido como padrão.

O ensaio de impermeabilidade foi realizado em analogia à NBR-8948/95, massa específica, porosidade aparente e absorção de água foram realizados de acordo com a NBR-9778/87, e o ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado em corpos-de-prova obtidos por corte em serra circular diamantada, apoiados em dois cutelos com 30 mm de diâmetro distantes entre si 280 mm (vão livre), tendo a carga sido aplicada através de um terceiro cutelo central, de mesmo diâmetro até a ruptura, por tração, dos corpos-de-prova. Os resultados estão apresentados no quadro que segue:

Tabela 2 - Resultados obtidos

Identificação das placas-de-prova	Impermeabilidade	Absorção de água (%)	Massa específica (kg/dm ³)	Porosidade aparente (%)	Limite de resistência à tração na flexão (MPa)
70	1	22,4	1,55	34,7	8,60
70	1	20,3	1,57	32,0	7,84

4.1. Observações gerais com relação ao quadro de resultados:

- 1) Não foi verificada a presença de manchas de umidade, gotas aderentes ou qualquer outro sinal indicativo de vazamentos;
- 2) O número que identifica os corpos-de-prova representa a quantidade de fibras em gramas adicionada à pasta constituída a partir de 3500g de cimento Portland tipo II-F, classe 32;

A análise dos resultados evidenciou características que sugerem ter-se obtido um material composto com características favoráveis ao desenvolvimento de produtos que permitam ter exploradas utilizações que exijam bom desempenho à flexão, já que os valores obtidos para este parâmetro sugerem ter-se introduzido uma significativa melhoria na resistência à tração pela incorporação de fibras à pasta de cimento. É possível tal afirmativa visto que excelentes concretos dificilmente atingem valores tão expressivos neste ensaio, como os obtidos. Chama a atenção, também, a substancial redução na massa específica do material função da elevada porosidade aparente medida, sem que disto resulte permeabilidade.

Foram produzidas, então, peças de pequena espessura que variaram de 5mm até 20mm, simulando placas de sinalização, placas de piso, placas de forro, telhas planas e telhas onduladas. Algumas destas peças foram produzidas em nível de protótipo estando expostas às intempéries no campus da PUC para observação continuada ao longo do tempo.



Figura 2 - Aspecto dos produtos obtidos

Tendo sido obtidos resultados que permitem considerar possível a obtenção de um material que pode ser chamado de fibrocimento pela sua constituição, sem qualquer comparação direta com os materiais obtidos por incorporação de fibras minerais de amianto à pasta de cimento, foram consideradas duas outras possibilidades. A primeira retorna ao estudo da incorporação do resíduo ao concreto a partir de uma experiência piloto que constituiu-se da adição de fibras de couro, em percentagens crescentes, a uma argamassa de cimento e areia. Em sendo experimentado um resultado positivo em argamassas seria possível admitir a extrapolação deste resultado para concretos. A segunda foi desenvolvida a partir da prensagem do material para a conformação de peças planas de pequena espessura.

Para a consecução da primeira alternativa, foram produzidas argamassas com o traço em massa de 1:3,00, respectivamente cimento e areia, as quais foram adicionadas quantidades variáveis e crescentes de fibras, para serem submetidas a ensaios visando determinar a resistência à compressão simples, a resistência à tração por compressão diametral, a absorção de água, a porosidade aparente e a massa específica.

Os ensaios de resistência à compressão simples, massa específica, porosidade aparente e absorção de água foram realizados em analogia a NBR-7215/97, NBR-8948/95, NBR-9778/87, respectivamente, e o ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi realizado segundo a NBR-7222/83. Os ensaios foram realizados aos 28 dias de idade, a exceção do ensaio de resistência à compressão simples também realizado aos 7 dias de idade, e os resultados obtidos estão apresentados no quadro que segue:

Resultados dos ensaios realizados em placas com adensamento simples.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios realizado

Identificação dos corpos-de-prova	Absorção de água (%)	Massa específica (kg/dm ³)	Porosidade aparente (%)	Limite de resistência (MPa)		
				Compressão simples		Tração por compressão diametral
				7 dias	28 dias	
0	9,70	1,97	19,2	18,8	27,4	2,65
5	10,9	1,85	20,2	13,9	20,0	1,68
10	12,4	1,78	22,0	12,8	17,2	1,35
20	13,2	1,72	22,7	8,60	13,5	1,14
30	13,6	1,64	22,3	6,70	10,4	0,92

Observação: O número que identifica os corpos-de-prova representa a quantidade de fibras, em gramas, adicionada à argamassa constituída a partir de 1000g de cimento Portland tipo II-F, classe 32, e 3000g de areia natural quartzosa vendida no mercado da grande Porto Alegre como regular, previamente peneirada em peneira da série normal (NBR-7217/97) de abertura correspondente a 2,4mm. As argamassas foram produzidas rigorosamente nas mesmas condições tendo-se respeitado a relação água/cimento de 0,595 em todas elas.

Observa-se com clareza que a adição de fibra prejudica a argamassa em todos os parâmetros considerados, tendo como referência a argamassa sem qualquer adição do resíduo. Assim, as resistências à compressão simples e à compressão diametral são drasticamente diminuídas. A massa específica também diminui pelo aumento da porosidade aumentando, em consequência, o índice de absorção de água. Diante dos resultados obtidos obteve-se a confirmação do acerto em não dirigir a pesquisa tendo como foco peças de concreto.

A segunda alternativa considerada foi posta em prática a partir da prensagem manual da mistura plástica sobre duas superfícies distintas. Uma constituída de uma chapa lisa e impermeável de fórmica e a outra de uma tela metálica assentada sobre um geotêxtil absorvente. As duas placas-de-prova foram comparadas segundo os mesmos ensaios descritos anteriormente a uma placa de mesma espessura obtida por adensamento simples.

Os resultados obtidos estão apresentados no quadro que segue:

Tabela 4 - Resultados dos ensaios dos corpos de prova obtidos

Identificação dos corpos-de-prova	Impermeabilidade	Absorção de água (%)	Massa específica (kg/dm³)	Porosidade aparente (%)	Limite de resistência à tração na flexão (MPa)
Adensamento mecânico	1	25,0	1,54	38,4	5,03
Prensagem sobre placa lisa	1	16,9	1,87	32,4	8,26
Prensagem sobre tela	1	17,2	1,89	31,6	8,64

Observa-se na comparação direta a significativa melhoria nas características do material obtido por prensagem devendo-se ressaltar o também importante aumento na massa específica. No entanto os resultados apresentam-se como altamente promissores se for pensada como viável a produção de telhas, para exemplificar.

5. DURABILIDADE

Quando se adiciona algum produto orgânico ao concreto, teme-se sempre pela interação degenerativa que pode ocorrer com a ação deste material orgânico sobre o concreto ou deste sobre o material adicionado.

Sabe-se que fibras vegetais apresentam tendência de uma maneira geral a não suportarem os efeitos da elevada alcalinidade do meio aquoso determinado pela pasta hidratada de cimento, degradando-se com comprometimento do desempenho do material composto. No caso específico das fibras de couro, existe a mesma preocupação, embora o tipo de tratamento ao cromo possa imunizar as fibras frente a alcalinidade do concreto. Uma experiência expedita

que consistiu em submeter uma certa quantidade de fibras à uma solução saturada de hidróxido de sódio NaOH, informou haver dissolução. Evidentemente que no concreto o desencadeamento de uma reação similar, mesmo que menos intensa, dependerá necessariamente da presença de água.

Assim, até que seja conhecida a real predisposição do material em garantir sua integridade na pasta de cimento, qualquer emprego de peças obtidas a partir da incorporação de fibras de couro à pasta de cimento deverá restringir-se a ambientes secos, ou estas peças deverão ser tratadas de forma a garantir a impermeabilidade do conjunto impedindo a interação do material com o meio ambiente para o estabelecimento do equilíbrio higroscópico que sempre determina a ocorrência do fenômeno de lixiviação.

Com o objetivo de avaliar comportamento das fibras frente ao ambiente alcalino, e eventualmente a possibilidade de produzir-se peças armadas com aço, foram produzidos corpos-de-prova prismáticos com um fio de aço de bitola 8, posicionado longitudinalmente para que seja avaliada a evolução da frente de carbonatação e a possibilidade de haver proteção ao aço.

Como a carbonatação é um fenômeno lento o ensaio deverá ter prosseguimento por um tempo indeterminado. Ao final de 30 dias a análise dos corpos-de-prova evidenciou uma profundidade carbonatada a qual não foi possível medir permitindo concluir ter havido carbonatação apenas na superfície do corpo-de-prova. Considerando a quantidade de cimento envolvida na produção do material, o resultado pode ser considerado como esperado não tendo ocorrido reação interna de salificação envolvendo as reservas ácidas do resíduo, que se supõe existirem. Deve ser ressaltado o fato que os corpos-de-prova foram mantidos em ambiente fechado podendo ser considerado como um ambiente seco.

Chamou a atenção o fato que na maioria dos corpos-de-prova ocorreu a perda de aderência entre o aço e o material. Provavelmente este fato seja causado pela retração do material, já que a quantidade de água envolvida na sua produção é elevada favorecendo a ocorrência do fenômeno de retração. Este fato sugere não ser possível ver com otimismo a possibilidade de reforçar o material em desenvolvimento com aço. No entanto, sempre será possível tentar outras alternativas de reforço como, por exemplo, telas plásticas.

6. ANÁLISE MICROSCÓPICA

Com o intuito de melhor conhecer o material estudado, foi realizada uma breve investigação microscópica que permitiu o entendimento de alguns detalhes do comportamento físico-mecânico do material. São apresentadas micrografias obtidas no Centro de Microscopia e Microanálises – CEMM – por um Microscópio Eletrônico de Varredura – Philips modelo XL 30 – que possui um sistema de EDS (Energy Dispersive X-ray Spectrometer), utilizado para quantificar e qualificar os elementos químicos, além de permitir o mapeamento dos mesmos em toda a área selecionada.

6.1. Fibra obtida do material identificado por “nobuck”

A figura 3 apresenta as fibras obtidas a partir do beneficiamento do couro identificado por “nobuck” de coloração marrom. Percebe-se nitidamente a separação das fibras menores que compõe um filamento de maior diâmetro. Esta constatação possibilita explicar o melhor desempenho obtido com o material preparado a partir da incorporação desta fibra.

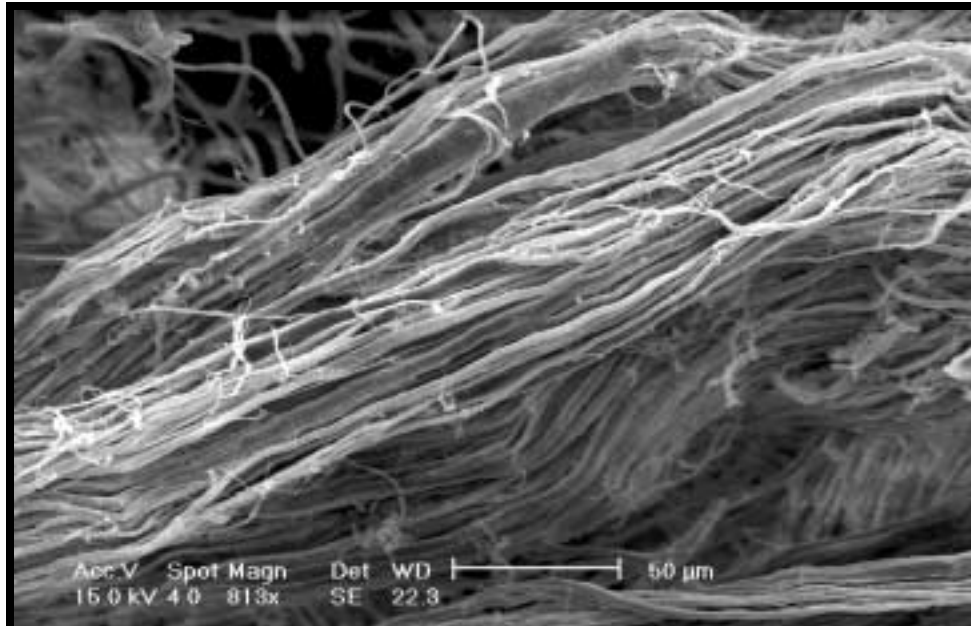


Figura 3 - Aspecto dos obtidos a partir do beneficiamento do couro

6.2. Material Adensado

A figura 4 apresenta, um aspecto final da mistura do compósito obtido por adensamento mecânico, sendo possível admitir como significativa a integração da fibra à pasta de cimento. Se correta esta hipótese, supõem-se que a fibra possa constituir um esqueleto que propicia a maior resistência à tração verificada, garantindo maior tenacidade e menor probabilidade de fissuração. Não se pode desconsiderar a grande porosidade do material, o que se reflete significativamente na massa específica menor e grande absorção de água.

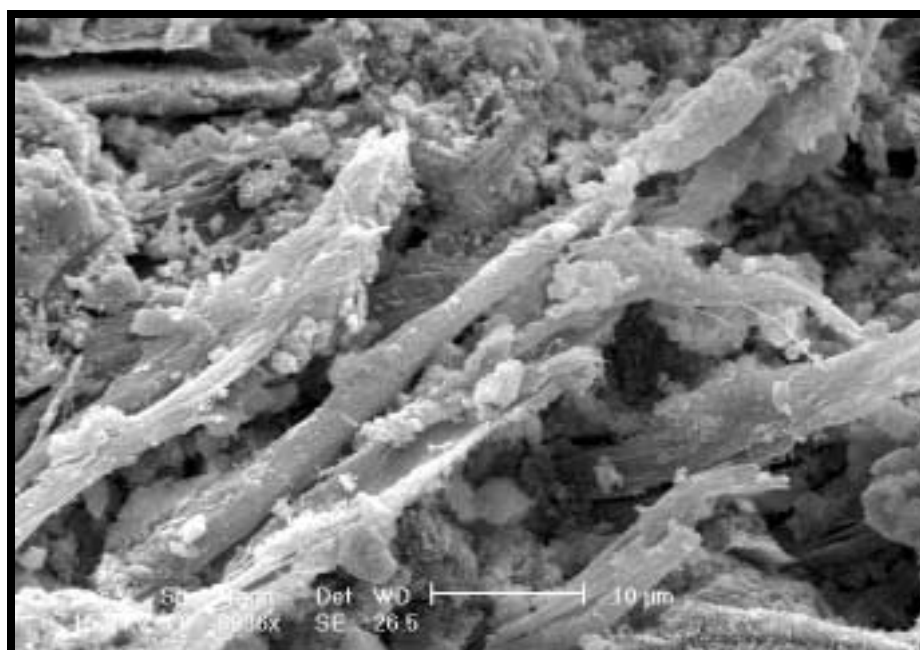


Figura 4- Aspecto de mistura do compósito

6.3. Material Prensado

Em comparação ao material adensado, percebeu-se uma maior compacidade do material prensado, traduzido pela significativa redução na porosidade. Isto indica uma interação maior entre as fibras e a matriz.

7. CONCLUSÕES

É possível adicionar resíduos de couro curtidos ao cromo à pasta de cimento para a obtenção de um material composto com características próprias que o capacitam a ser empregado no desenvolvimento de artefatos para a construção civil. O emprego do resíduo natural sem tratamento a não ser a redução de tamanho tornando-o compatível com os agregados normalmente empregados na produção de concretos e argamassas, é viável desde que na produção de artefatos que não sejam exigidos quanto à resistência mecânica e cujo aspecto não seja importante.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo deverá ter continuidade tendo em vista que muitas variáveis não foram controladas nesta fase inicial em que apenas comprovou-se a viabilidade técnica da utilização do resíduo, tratado como proposto no projeto, no desenvolvimento de um novo material. Assim, o tipo de tratamento superficial para seu acabamento além da natureza dos produtos empregados, deverão ser objeto de análise com vistas a identificar possíveis influências nas características do produto final.

A questão da durabilidade não foi abordada na etapa que se encerra com este relatório, uma vez que qualquer avaliação deverá ser realizada durante um período de tempo significativamente longo que possibilite perceber as

alterações que porventura venha a sofrer o material. Acreditamos ser conveniente definir em princípio um produto de produção viável comercialmente para que sobre estas peças possa ser procedida a avaliação da durabilidade. Questões ambientais deverão ser contempladas em estudos futuros com atenção primordial quanto a estabilização de produtos poluentes frente ao fenômeno de lixiviação

Ênfase deverá ser dada aos processos produtivos que envolvam prensagem, laminação ou extrusão já que as simples experiências realizadas de forma rudimentar em laboratório demonstraram que é possível obter um material com características de acabamento superficial e resistência mecânica superiores àqueles obtidos por processos convencionais de adensamento.

O estudo deve ser continuado abrangendo a possibilidade de desenvolver um tratamento ao resíduo que possibilite a incorporação de uma maior quantidade à pasta de cimento.

Em função dos resultados obtidos, acredita-se ser possível substituir parte das fibras de amianto por fibras de couro curtido ao cromo na produção de artefatos de fibrocimento, desde que os equipamentos sejam adaptados ao novo insumo.

A aglomeração com resinas poliméricas poderá ser uma alternativa à pasta de cimento Portland na obtenção do compósito.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DANTAS, F. A. S. e AGOPYAN, V. – **Adição de Fibras em Concreto de Baixo Consumo de Cimento- Análise da Fissuração Devida à Retração** – Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, São Paulo – 1987.

SAVASTANO JÚNIOR, H. e AGOPYAN, V. – **Caracterização da Zona de Transição entre Fibras e Pasta de Cimento Portland** – Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, São Paulo – 1993.

OLIVEIRA JÚNIOR, M. D. e TOPPER, T. H. – **Placas Conjugadas utilizando Fibras de Couro Aglomeradas e Placas de Vermiculita** – 5º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Porto Alegre – 1982.

OLIVEIRA JÚNIOR, M. D. e TOPPER, T. H. – **Desenvolvimento de Placas Aglomeradas de Fibras de Couro para aplicação como Revestimento na Construção Civil** – 5º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Porto Alegre – 1982.

CARVALHO FILHO, A. C. e AGOPYAN, V. – **Argamassas Reforçadas com Fibras de Sisal - Comportamento Mecânico à Flexão** – Boletim Técnico do Departamento de Engenharia de Construção Civil da EPUSP, São Paulo – 1993.

TEIXEIRA, R. C. – **Estudo Sobre a Utilização da Serragem de Couros ao Cromo na Fabricação de Artefatos** – Dissertação de Mestrado – Departamento de Metalurgia da UFRGS, Porto Alegre – 1985.

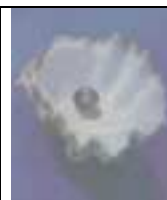
- HOINACKI, E; MOREIRA, M. V. e KIEFER, C. G. – **Manual básico de processamento do couro**, Porto Alegre – 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Determinação da Existência a Compressão**: NBR 7215. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da Resistência a Tração por Compressão Diametral de Corpo de Prova**: NBR 7222. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa e Concreto Endurecidos – Determinação da Absorção de Água por Imersão – Índice de Vazios e Massa Específica** : NBR 9778. Rio de Janeiro, 1987.
- HELENE, P; TERZIAN, P.: **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: PINI, 1992. 349p.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.: **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573p.
- HELENE, Paulo R. L.: **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. São Paulo: PINI, 1986. 47p.
- PETRUCCI, Eládio G. R.: **Concreto de Cimento Portland Atualizado e Revisado por Vladimir Antonio Paulon**. Porto Alegre: GLOBO, 1978. 307p.
- NEVILLE, Adam M.: **Propriedades do Concreto** – Tradução Salvador E. Giamusso. São Paulo: PINI, 1982. 732p.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

ANÁLISE DE PLACAS REFORÇADAS COM FIBRAS DE SISAL ATRAVÉS DO MÉTODO DE ELEMENTOS DE FAIXAS FINITAS

OLIVEIRA, Márcio J. Estefano (1); **TERNI**, Antonio Wanderley (2)

- (1) Doutorando Pesquisador em Geociências e Meio Ambiente pelo IG/UNESP MSc. pela EPUSP – Departamento Engenharia de Construção Civil e Urbana - USP; Professor do Departamento de Engenharia Civil da UNESP e da UNITAU; membro do Comitê de Construção Civil e Meio Ambiente , CT-206 do IBRACON. mcconsul@uol.com.br ou estefano@feg.unesp.br
- (2) Doutor em Engenharia Civil, na Área de Estruturas, pelo Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações / PEF - Escola Politécnica da USP, EPUSP; Mestre em Ciências, Área de Estruturas e Mecânica dos Sólidos pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA; Professor do Departamento de Engenharia Civil da UNESP, Área de Estruturas, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. terni@feg.unesp.br

Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Bairro do Pedregulho, Guaratinguetá, Estado de São Paulo, CEP 12.500-000, Caixa Postal 205, Fone/Fax (12) 525-2800 R 328, dec@feg.unesp.br

Palavras-chave: compósitos, fibras, sisal, elementos finitos, elementos de faixa, painel reforçado, novos materiais.

RESUMO

Apresenta-se uma análise comparativa entre os resultados teóricos e experimentais referentes à solicitação de flexão de placas de argamassa reforçadas com fibra de sisal. A análise teórica foi elaborada através do Método de Elementos de Faixas Finitas, cujo elemento finito utilizado foi concebido de acordo com TERNI (1996). O elemento desenvolvido, devido à função de forma utilizada, comentada adiante, foi denominado de elemento de faixa analítica. Entretanto, as fibras vegetais sofrem o efeito das matrizes alcalinas, as fibras vegetais devem ser tratadas ou adicionadas em matrizes produzidas com aglomerantes de baixo pH. O compósito estudado foi produzido com cimento Portland CP II F – 32. Esta pesquisa não tem como objetivo o estudo do efeito da alcalinidade sobre as fibras do compósito. Os ensaios e a confecção do compósito com fibra de sisal foram desenvolvidos nos Laboratórios de Materiais de Construção e Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da UNESP - Universidade Estadual Paulista.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de materiais de construção civil a base de cimento reforçado com fibras está aumentando rapidamente, principalmente em países desenvolvidos, dada à possibilidade de produção de componentes esbeltos com bom desempenho mecânico, bom desempenho termo-acústico e, evidentemente, pela viabilidade econômica.

O uso de novos materiais confeccionados com fibras vem se firmando como uma nova alternativa no mercado de materiais de construção pois, esta matéria prima, se explorada adequadamente, pode representar recursos continuamente renováveis e com baixo consumo de energia de fabricação. Nesta direção, a utilização de fibras vegetais se torna interessante em face de sua disponibilidade e a condição estrutural que impõe ao compósito para certas aplicações, principalmente na confecção de pré-moldados para habitações (AGOPYAN, 2000).

O estudo de fibras, com finalidade de reforço de matrizes, começou na Inglaterra em 1970, enquanto no Brasil, a pesquisa pioneira coube ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), em Camaçari, Bahia, a partir de 1980.

As características de maior interesse no estudo de fibras aplicadas às matrizes são as suas *dimensões* (a relação entre o comprimento e diâmetro das fibras é fator determinante na transferência de esforços para a matriz), o *volume de vazios* e *absorção de água*, sua *resistência à tração* e *módulo de elasticidade*.

O sisal, *agave sisalana*, é a única espécie do gênero agave cultivada no Brasil com sucesso econômico, sendo um país exportador deste produto. Permite-se, do sisal, fabricar fios, barbantes, cordas marítimas, sacaria, tapetes, estofamento, artesanatos, além de se obter de seu resíduo, a celulose, cera, adubo, plástico, gorduras, glucosídios, álcool, ácidos, forragens, etc.

Por apresentar alta resistência às estiagens, tão freqüentes na região nordeste, a cultura do sisal desempenha um papel primordial na agricultura e, conseqüentemente, na sócio-economia da região.

O sisal, possui condições econômicas de aplicabilidade em painéis de argamassa ou concreto reforçado com estas fibras.

O Método de Elementos Finitos, como uma poderosa e versátil ferramenta na análise estrutural, é bem conhecido e sua utilização já está bem estabelecida pelos engenheiros estruturais.

Para muitas estruturas contendo geometria regular e condições de contorno simples, a análise completa pelo Método dos Elementos Finitos pode ser substituída pelo Método dos Elementos de Faixas Finitas, em face de concepção de o elemento ser tomada como faixa finita, gerando um esforço computacional menor nas aplicações.

Muitas estruturas em engenharia civil são formadas por sistemas de placas planas como as lajes, elementos estruturais de pontes, reservatórios e aquedutos.

Tradicionalmente, a análise teórica de placas finas recai nas hipóteses admitidas por Kirchhoff, que propõe a solução de uma equação diferencial não-

homogênea, bi-harmônica, com apropriadas condições de contorno a serem adotadas. Desta maneira, soluções diretas, ou clássicas, para problemas de placas têm sido limitadas relativamente a poucos sistemas simples.

Durante as duas últimas décadas, grandes progressos foram obtidos na análise de placas utilizando técnicas implementadas para uso em computador. Estas máquinas, com alta capacidade de processamento, permitem aprimorar o uso de técnicas como o Método de Diferenças Finitas e o Método dos Elementos Finitos, onde permitem o estudo de placas com contorno altamente irregular, com materiais e carregamentos diversos.

Estes métodos, porém, podem ser menos interessantes quando ocorrer casos de configurações simples em placas, onde freqüentemente estão sujeitas a condições de contorno regulares com propriedades uniformes de material. Tais sistemas podem ser efetivamente analisados através do Método das Faixas Finitas. Esta análise numérica alternativa reduz esforços computacionais, mas mantém a mesma versatilidade do método dos elementos finitos.

Neste método, a estrutura é subdividida em faixas (elementos de faixas finitas) onde seus bordos opostos coincidem com o contorno da estrutura, utilizando uma concepção de análise através dos deslocamentos das linhas nodais, podendo ser considerado, sobre esta ótica, como uma forma especial do método dos elementos finitos.

Contrário, contudo, ao método dos elementos finitos tradicional, na qual utiliza funções polinomiais para representar o deslocamento em todas direções, o método das faixas finitas exige apenas funções em algumas direções, com a condição que satisfaçam a priori as condições de contorno das extremidades da placa. A forma geral da função que representa os deslocamentos é dada através de um produto de duas funções independentes que satisfazem as condições de contorno em suas direções.

A filosofia do método das faixas finitas é similar ao Método de Kantorovich, na qual o problema é traduzido sob forma de uma equação diferencial ordinária, ao invés de uma equação diferencial parcial, a partir de uma separação de variáveis.

O primeiro estudo sobre o método da faixa finita foi apresentado por Cheung em problemas de placas sob flexão, utilizando uma faixa retangular simplesmente apoiada. Em seguida, o estudo foi generalizado pelo próprio Cheung incluindo outras situações de contorno. Um outro trabalho independente, na formulação da faixa retangular simplesmente apoiada, foi publicado posteriormente por Powell e Ogden.

Nas publicações mencionadas acima foi utilizada uma função polinomial cúbica gerando bons resultados para as deflexões, enquanto que descontinuidades de momentos nos contornos das faixas e a existência de alguns resíduos de momentos transversais na borda livre foram detectadas para malhas com pouco refinamento. Evidentemente, o aumento do número de faixas na análise destas descontinuidades e momentos residuais, diminuiu os erros e, em certos casos, vieram a desaparecer.

Uma caminho alternativo encontrado para aumentar a precisão sem aumentar o número de faixas foi determinar novas funções para representar o deslocamento, estabelecendo novas compatibilidades nas linhas nodais ou

introduzindo linhas nodais internas da mesma forma que é introduzido no método dos elementos finitos. Nesta linha, o uso de funções envolvendo polinômios do quinto grau foi originalmente sugerido por Cheung, embora a formulação real foi estabelecida por Loo e Cusens. A aplicação do método também, têm sido estudada em problemas de vibrações e de estabilidade, que estão relacionados com problemas de auto-valor.

O Método das Faixas Analíticas tenta contribuir na direção de aprimorar a precisão da faixa finita propondo uma formulação com novas funções para o deslocamento, aumentando a eficiência deste método numérico de análise.

O estudo desenvolve-se sob as considerações feitas por Kirchhoff em placas retangulares planas com diferentes condições de contorno e carregamento.

O aumento da capacidade de processamento que os equipamentos de informática vêm experimentando nestes últimos anos e com aplicativos cada vez mais sofisticados, permite desenvolver elementos mais sofisticados que utilizam funções de forma mais complexas, tornando o tempo de processamento compatível com o tempo necessário para análise estrutural a ser feita, o que era inviável antigamente.

Desta forma, pode-se estabelecer uma rotina mais racional de dimensionamento para painéis confeccionados com este material alternativo e propor, em seguida, novas aplicações e concepções no mercado da construção civil.

2. A MATRIZ REFORÇADA COM FIBRA DE SISAL

Em sentido restrito, o termo compósito, ou material composto é resultado da adição de fibras longas ou curtas a uma matriz. O estudo destes compósitos tem despertado grande interesse dos pesquisadores, pois possuem boa resistência à tração, ao impacto, à fadiga, boa tenacidade e ductilidade. Oferecem grande segurança ao evitar a ruptura brusca e facilitam a moldagem de formas complicadas.

No caso particular da Indústria da Construção Civil, as matrizes mais empregadas são frágeis, rompem-se por deformação plástica notadamente pastas, argamassas e concretos de aglomerantes minerais como o cimento Portland, e em menor escala, a cal e o gesso. Segundo AGOPYAN (2000) com a adição de fibras nestas matrizes é possível melhorar as suas propriedades mecânicas, como a resistência à tração, à flexão e ao impacto.

2.1. Considerações sobre Fibras Vegetais

As características macroscópicas de maior interesse no estudo de fibras são aquelas relacionadas com o comportamento dos compósitos resultantes. As propriedades físicas e mecânicas das fibras vegetais que costumam ser de interesse são:

2.1.1. Dimensões

A relação entre o comprimento da fibra e o diâmetro das fibras é um fator determinante na transferência de esforços para a matriz. A seção transversal irregular das fibras vegetais e o aspecto fibrilado, exercem influência positiva na ancoragem junto a matrizes frágeis.

2.1.2. Volume de Vazios e absorção de água

Em face de grande porcentagem volumétrica de vazios permeáveis, a absorção é muito alta já nos primeiros instantes da imersão, tendo como consequência direta uma interferência negativa na relação água/cimento da matriz, gerando intumescimento e posterior retração da matriz. Por outro lado, o elevado volume de vazios contribui para diminuir o peso e a condutibilidade térmica e aumentar a absorção acústica.

2.1.3. Módulo de elasticidade

As fibras vegetais classificam-se como de baixo módulo DE elasticidade, se comparadas às matrizes cimentícias que possuem módulo entre 20 GPa e 30 GPa. Esta é uma característica determinante para o emprego em componentes construtivos que trabalham no estágio pós-fissurado, sujeitos a elevadas absorções de energia e esforços dinâmicos.

2.2. A fibra de sisal utilizada para elaboração do compósito

2.2.1 Aspectos gerais

O sisal, *agave sisalana*, é a única espécie do gênero *agave* cultivada no Brasil com sucesso econômico. Conhecem-se, pelo menos, 57 espécies do gênero e cerca de 300 variedades. Os agaves são originárias das Américas, áreas das Caraíbas, sendo as áreas ecológicas favoráveis ao seu cultivo àquelas delimitadas pelos paralelos à 20° ao norte e sul do equador. As fibras de sisal já eram utilizadas pelos indígenas, antes da viagem de Colombo, com fins domésticos e se tornaram conhecidas na Europa através de relatórios dos navegadores após o descobrimento da América. Em 1946, de país importador, o Brasil reverteu sua posição à condição de país exportador de sisal, chegando em 1951 à situação de segundo lugar na produção mundial.

2.2.2 Características da planta, cultura, plantio e colheita

O sisal é da família das *amarilidáceas*. É uma planta caulescente e estolinífera, os caules atingem até 2 m de altura, com folhas cinza-verdes, linear, lanceoladas de 8 a 10 cm de largura, de 150 a 250 cm de comprimento, possuindo espinho terminal pardo escuro, flores amarelo-verdes de 60 a 65 cm de comprimento. É uma planta livremente bulbífera e tem um período de vida de 7 a 15 anos.

Da folha do sisal se obtém 20% de fibra, sendo apenas 3% é comercializável, 50% de suco e o restante constituído de água. A fibra do sisal, composta de microfibras, é quase branca, resistente à tração, durável e mede, em média, 1,50 m. As raízes do sisal atingem até 1,50m e não suportam encharcamento. A ecologia do Nordeste é ideal para este tipo de cultura, reforçado, ainda, por sua grande resistência climática.

No centro-sul, a melhor época do plantio é no início da estação chuvosa, entre outubro e novembro. No nordeste, a época mais propícia coincide com os meses de janeiro e março. A melhor época para o corte, na qual produz fibras de melhor qualidade, é após as chuvas. O primeiro corte pode ser feito depois de 20 a 30 meses de plantado, com rendimento médio de 15 folhas por planta. O intervalo entre os cortes deve ser de 6 a 9 meses.

2.2.3 Usos, beneficiamento, produção e aspectos sócios-econômicos

Atualmente, o sisal pode fornecer fibras para fabricação de fios, barbantes, cordas, sacaria, tapetes, estofamento, artesanatos etc. Dos resíduos pode-se obter celulose, cera, adubo, plásticos, gorduras, glucosídios, álcool, ácidos, forragens etc. Os processos de beneficiamento das fibras compreendem o desfibramento, a lavagem, a secagem, o batimento, a prensagem e o enfardamento. A Bahia é maior produtor de sisal do Brasil, participando com mais de 50% da produção nacional. Seguem-se, pela ordem de quantidade produzida, os estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Pernambuco. Basicamente, 80% da fibra produzida no país se destina ao mercado exterior. O principal manufaturado do sisal é o *baler twine*, fio agrícola usado para enfardamento.

Por ser altamente resistente às estiagens prolongadas, tão freqüentes na região nordeste, a cultura do sisal desempenha um papel primordial na agricultura e, conseqüentemente, na sócio-economia da região. Deve-se ressaltar que toda a extensa área territorial abrangida pelo sisal fica no "Polígono das Secas", onde sabidamente não há opções econômicas que assegurem níveis de vida adequados.

A cultura do sisal pode ser, pois, incentivada, ficando claro a necessidade de se formar um programa de pesquisa que vise o descobrimento de novas utilizações, como, por exemplo, se apresenta neste trabalho.

2.3. O cimento utilizado para a confecção da matriz e do compósito

Para o cimento utilizado na confecção da matriz e dos compósitos, foram feitos ensaios cujos comentários se seguem:

2.3.1. Determinação do índice de finura

Este ensaio é realizado para verificar a influência que o grau de moagem exerce sobre as propriedades do cimento.

O resultado obtido no laboratório foi de 1,74%, estando de acordo com a norma, tendo em vista que o cimento utilizado foi o CP II - F 32.

2.3.2 Determinação do tempo de pega

Este ensaio é de interesse para poder-se trabalhar, transportar, lançar e adensar a argamassa sem comprometer o fenômeno do endurecimento e, por conseqüência, a resistência.

2.3.2.1 Determinação da consistência normal

A consistência normal foi atingida na segunda tentativa, pois a extremidade da sonda de Tetmajer ficou a 7 mm \pm 1 mm do fundo.

2.3.2.2 Determinação do tempo de pega

Após o ensaio, obteve-se o tempo de pega de 10 horas e 17 minutos.

2.4. Agregado miúdo

Entende-se por agregado miúdo normal ou corrente a areia natural quartzosa ou o pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, com tamanhos de partículas tais que no máximo 15% ficam retidos na peneira de 4,8 mm (PETRUCCI, 1993). O emprego de areia em conjunto com aglomerante gera grandes vantagens do ponto de vista econômico e mecânico. Por ser um material de baixo custo, a areia é associada ao cimento visando economia e estabilidade dimensional da matriz. Na produção do compósito empregou-se areia média quartzosa de rio com módulo de finura de 3,25. Foi elaborada a análise granulométrica e a determinação da massa específica absoluta da areia pelo frasco de Chapmann, fornecendo o valor de $2,62 \text{ g/cm}^3$. O teor de umidade da areia foi de 2,51%. O teor de materiais pulverulentos foi de 2,27%. O peso unitário em estado solto foi de $1,46 \text{ g/dm}^3$. O coeficiente médio de inchamento foi de 1,24, enquanto a umidade crítica de 6,70%.

2.5. Produção do compósito

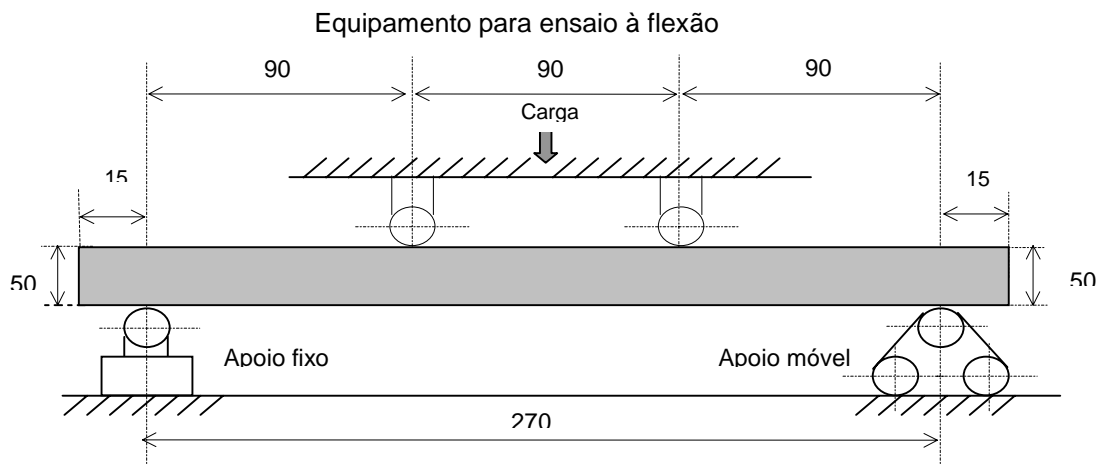
2.5.1. Dosagem

Conforme descrito anteriormente, a matriz de argamassa foi desenvolvida com cimento CP-II F-32 e areia quartzosa média. O compósito se constitui, portanto numa matriz reforçada com fibra de sisal com 2,7%.

Após a caracterização da matéria-prima e dos ensaios prévios o traço da argamassa adotado foi o seguinte: 1 : 2 : 0,5. O método de preparação da mistura compreende a pesagem, ordem de mistura, da areia e da fibra, homogeneização de todos os materiais, tempo de mistura de cada etapa, método de moldagem, tipo de adensamento, medida de trabalhabilidade, tempo de endurecimento, determinação da massa específica do compósito.

2.5.2. Equipamentos

Foram produzidos 6 corpos de prova empregados no ensaio à flexão para determinação da resistência à tração com as seguintes dimensões: comprimento de 300 mm, largura de 150 mm e espessura de 50 mm.



A determinação do módulo de ruptura das placas foi realizada com base nas prescrições da norma ASTM C - 78. Os ensaios foram realizados após 72 horas do endurecimento dos espécimes. A Figura 1 ilustra esquematicamente o equipamento de quatro cutelos empregado para o ensaio à flexão das placas. O cálculo do módulo de ruptura é dado por:

$$f_t = \frac{P.l}{C.e^2} \quad (1)$$

A fórmula teórica de placa é proposta pela ASTM C – 78, onde:

f_t = resistência de tração na flexão em (MPa);

P = carga aplicada (N);

l' = distância entre apoios (mm);

C = largura do corpo de prova (m);

e = altura do corpo de prova (mm).

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os resultados experimentais, obtidos a partir dos ensaios dos corpos de prova, tiveram os seguintes valores médios:

- Ruptura da placa somente com a matriz: 4,80 MPa.
- Ruptura da placa formada pelo compósito: 7,40 MPa.
- Módulo de elasticidade da matriz: $E_m = 28,0$ GPa.
- Módulo de elasticidade do compósito: $E_c = 28,8$ GPa.

4. O ELEMENTO DE FAIXA PROPOSTO

Um método de faixas finitas é proposto para o cálculo de placas retangulares que denomina-se “Método das Faixas Analíticas”.

É um método de rigidez cujas equações principais podem ser escritas na seguinte forma matricial:

$$\{\varepsilon\} = [K] \{u\} + \{\varepsilon\}_0 \quad (2)$$

onde $\{\varepsilon\}$, $[K]$, $\{u\}$ e $\{\varepsilon\}_0$ são, respectivamente, a matriz coluna dos esforços, a matriz (quadrada) de rigidez, o vetor coluna dos esforços equivalentes ao carregamento externo.

Na formulação pelo Método dos elementos finitos, uma etapa importante é a obtenção da matriz de rigidez do elemento que, para o caso, é de um elemento de faixa.

Em [2] obtém-se a matriz de rigidez a partir da Matriz de transferência (que relaciona os esforços entre as linhas nodais da faixa) e pelo tradicional uso do princípio da energia potencial mínima.

A função de forma utilizada é a solução da equação diferencial bi-harmônica que rege o estudo de placas finas, representado por dois conjuntos de funções, $X_m(x)$ e $Y_m(y)$, que permitirão manipular as condições de contorno em cada direção da faixa.

Tais funções serão tomadas aqui como sendo soluções determinadas através do método de separação de variáveis, aplicado à equação bi-harmônica.

Assim, os esforços e deslocamentos podem ser expandidos do seguinte modo:

$$M = M_x = - D \sum_m \left(\frac{\partial^2 X_m}{\partial x^2} - \nu \lambda^2 X_m \right) Y_m , \quad (3)$$

$$M_y = - D \sum_m \left(\nu \frac{\partial^2 X_m}{\partial x^2} - \lambda^2 X_m \right) Y_m , \quad (4)$$

$$R = R_{xz} = - D \sum_m \left(\frac{\partial^3 X_m}{\partial x^3} - (2 - \nu) \lambda^2 \frac{\partial X_m}{\partial x} \right) Y_m , \quad (5)$$

$$w = \sum_{m=1}^{\infty} w_m , \quad (6)$$

$$w_m = X_m(x) Y_m . \quad (7)$$

O carregamento também poderá ser expresso em função de $Y_m(y)$ como:

$$p(x,y) = \sum_{m=1}^{\infty} p_m(x) Y_m(y) . \quad (8)$$

Para solução da equação bi-harmônica faz-se,então:

$$w(x,y) = X(x) \cdot Y(y) . \quad (9)$$

Desta forma, a equação pode ser escrita como:

$$\frac{d^4 X(x)}{dx^4} \cdot Y(y) + 2 \frac{d^2 X(x)}{dx^2} \frac{d^2 Y(y)}{dy^2} + X \cdot \frac{d^4 Y(y)}{dy^4} = \frac{p_z(x,y)}{D} . \quad (10)$$

Considerando $Y(y)$ como solução do seguinte problema:

$$\frac{d^2 Y(y)}{dy^2} = -\lambda^2 Y(y) \quad (11)$$

e após duas derivações sucessivas, chega-se a:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^4 Y(y)}{dy^4} = \lambda^4 Y(y) , \quad (a) \\ + \text{ condições de contorno na direção } y \text{ da placa a serem aplicadas } e \quad (b) \\ \lambda = \frac{m \pi}{f} . \quad (c) \end{array} \right.$$

Tem-se, após as devidas substituições:

$$\left[\frac{d^4 X(x)}{dx^4} - 2 \lambda^2 \frac{d^2 X(x)}{dx^2} + \lambda^4 X(x) \right] \cdot Y(y) = \frac{p_z(x,y)}{D} . \quad (12)$$

As funções $Y(y)$, são do tipo:

$$Y(y) = C_1 \sin \lambda y + C_2 \cos \lambda y + C_3 \sinh \lambda y + C_4 \cosh \lambda y , \quad (13)$$

que podem ser particularizadas para cada condição de contorno, observando que “ f ” é a largura da faixa na direção y :

Neste trabalho, impõe-se a condição de bordos livres na direção “ y ”. Assim:

$$Y''(0) = Y'''(0) = 0 \quad (14)$$

e

$$Y''(f) = Y'''(f) = 0 . \quad (15)$$

Neste caso:

$$Y_m(y) = \text{sen } \lambda_m y + \text{senh } \lambda_m y - \zeta_m (\cos \lambda_m y + \cosh \lambda_m y) \quad (16)$$

com

$$\zeta_m = \frac{\text{sen } \mu_m - \text{senh } \mu_m}{\cos \mu_m - \cosh \mu_m}, \quad (17)$$

$$\lambda_m = \frac{\mu_m}{f} ; \left(\mu_m = \frac{2m-3}{2} \pi ; m = 3, 4, \dots, \infty \right), \quad (18)$$

$$Y_1(y) = 1 ; \mu_1 = 0 \quad (19)$$

e

$$Y_2(y) = 1 - \frac{2y}{f} ; \mu_2 = 1. \quad (20)$$

O problema a ser resolvido, então, é:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left[\frac{d^4 X}{dx^4} - 2\lambda^2 \frac{d^2 X}{dx^2} + \lambda^4 X \right] Y(y) = \frac{p_z(x,y)}{D}, \quad (a) \\ + \text{condições de contorno para } X(x) \text{ e} \quad (b) \\ + \text{condições de contorno para } Y(y). \quad (c) \end{array} \right. \quad (21)$$

Com estas definições, todos os elementos necessários para montar-se à formulação do elemento, como matriz de rigidez e termos de carga, são passíveis de serem executadas.

5. RESULTADOS TEÓRICOS

De acordo com a formulação apresentada e com a imposição prática do ensaio, procedeu-se da seguinte forma para obtenção do resultado teórico:

A placa de ensaio foi dividida em dois elementos de faixa finita carregados por uma carga uniformemente distribuída unidirecional no sentido de “x”. A direção “x” foi admitida como a da direção dos apoios.

A partir das dimensões da placa e de suas constantes físicas, obteve-se a matriz de rigidez de cada elemento, de acordo com TERNI (1996).

Considerando a forma do carregamento, obteve-se os termos de carga correspondentes.

Montou-se a matriz de rigidez global, impôs-se as condições de contorno das linhas nodais, e formou-se um sistema de equações cujas incógnitas são os deslocamentos desconhecidos das linhas nodais, que no caso, são as rotações nos apoios e as deflexões no centro da placa. Em seguida, obteve-se o momento fletor em função destes deslocamentos e, conseqüentemente a tensão normal nesta seção da placa, ou seja, na linha nodal comum, no centro da placa, onde ocorre o valor extremo de sollicitação.

Deve-se salientar que a análise é elástica linear.

O esforço em cada cutelo que gera uma tensão de 5,3 MPa, correspondente a tensão experimental de 7,4 MPa, com a aplicação de um fator de segurança de $FS = 1,4$, foi de 0,12 kN/cm.

6. COMENTÁRIOS FINAIS

A formulação através da faixa analítica, em que pese neste trabalho ter simples aplicação, permite obter uma formulação numérica que possui boa precisão devido às funções de forma adotadas.

Aplicações para análises com não-linearidade física podem ser implementadas, necessitando somente obter a curva representativa da relação tensão deformação do compósito, permitindo uma análise mais realista até a ruptura.

De qualquer forma, a proposta de seu uso, tem a intenção de racionalizar o dimensionamento e poder contar com resultados mais precisos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, V. Developements of Vegetable Fibre Reinforced Cementicious Materials in São Paulo. p. 90-102. Anais. PB: UFPB, 2000.
- AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS – ASTM, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete. ASTM C 239 82.
- CARVALHO, A. Deposição de Resíduos Sólidos na Industria de Compósitos. II Seminário: Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. IBRACON. Instituto Brasileiro do Concreto. Comitê Técnico CT 206 – Meio Ambiente. Anais. EPUSP. pp. 43-50. São Paulo, 2000.
- PETRUCCI, E.G.R. Concreto de Cimento Portland. 12 Ed., Editora Globo, 307 pp., São Paulo, 1993.
- TIMOSSHENKO, S.P. Resistências dos Materiais. 3^a Edição. Ao Livro Técnico, pp. 518. Rio de Janeiro, 1966.
- TERNI, A.W. O Método das Faixas Analíticas, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP - EPUSP, 185 pp., São Paulo, 1996



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

ARGAMASSA E BLOCOS DE CIMENTO PORTLAND COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE TINTA POLIURETANA

MARQUES, Mauro Nunes de Melo (1); **TOCHTROP JR.**, Erwin Francisco (2)

- (1) Eng. Civil, Mestrando Pesquisador no Centro Universitário Luterano de Manaus, da Universidade Luterana do Brasil, ULBRA, Canoas-RS. Rua Dr. Machado, 29, Centro, Manaus-AM. CEP: 69020-090. E-mail: mauromarques@osite.com.br
- (2) Engenheiro de Minas, Professor Adjunto, Universidade Luterana do Brasil, Curso de Engenharia Ambiental. Caixa Postal 124, Canoas-RS. CEP: 92420-280. E-mail tochtrop@ulbra.br

Palavras-chave: reciclagem, meio ambiente, entulho, argamassa, borra de tinta

RESUMO

Com o objetivo de contribuir para o aproveitamento dos resíduos das indústrias da Zona Franca de Manaus, para uso na construção civil, efetuou-se um estudo de dosagem de argamassa e blocos de cimento Portland com adição de resíduo de tinta poliuretana. Este material é um subproduto dos setores de pintura das indústrias localizadas no Distrito Industrial de Manaus, que contribui para a degradação do meio ambiente. O resíduo, que possui elevada umidade, foi secado à temperatura ambiente sendo, em seguida, triturado em moinho de bolas e classificado em peneira ABNT Nº 16(1,2mm). A análise deste material alternativo foi realizada tomando-se por base quatro traços para argamassa de assentamento, e três traços para blocos de fechamento e elementos vazados. Os componentes utilizados para confecção dos traços, obtidos em casas comerciais, são: cimento CP-320 AF e areia média. As misturas de cimento, resíduo e água, foram submetidas a ensaios físicos, visando calcular a expansibilidade e tempo de pega. Os ensaios mecânicos de resistência à compressão, efetuados em corpos cilíndricos, mostraram aumento de resistência com o incremento da porcentagem de resíduo, mantendo-se constante as quantidades de areia e cimento. Os resultados obtidos permitiram concluir que este material alternativo é viável para uso em habitações populares e, assim, contribuindo para redução do impacto ambiental na cidade de Manaus, AM.

1. INTRODUÇÃO

Desde os seus primórdios, o homem sempre dependeu da natureza para sua sobrevivência. Rochas, solos e vegetais, inicialmente usados para fazer moradias, tiveram, e continuarão a ter importância, mesmo com toda a sofisticação e tecnologia de que dispomos para aplicação na construção civil. A reciclagem de materiais para aproveitamento em obras existe há algumas décadas, e um forte exemplo, foi o aproveitamento de entulhos ocorrido após a Segunda Guerra Mundial, para a reconstrução da cidade de Berlim, onde materiais cerâmicos retirados dos escombros, eram aproveitados e misturados com areia e cal para a produção de argamassas (Vorobiev, 1965). Nos Estados Unidos o aproveitamento de resíduos é feito há mais de 30 anos, na produção de agregados artificiais; enquanto na Alemanha o trabalho de reciclagem de entulho chega a 30%; e na Holanda, este volume é de 70% para mais de 40 usinas de reciclagem (Coelho e Chaves, 1998).

No Brasil, a transformação do lixo residencial e industrial em materiais aproveitáveis, deveu-se à necessidade de preservação do meio ambiente natural e à carência de novos produtos para construção de habitações para famílias de baixa renda (Amorim et al., 1999). O lixo proveniente das indústrias, sob o ponto de vista da toxicidade, é o que mais ataca o meio ambiente. O volume crescente desses diversos tipos de resíduos, a necessidade de preservação dos ecossistemas naturais e, também, dos ambientes urbanos, tem levado os pesquisadores a descobrir meios de combater os prejuízos causados pela quantidade de lixo produzido pelo homem.

Desde 1998, o Instituto Luterano de Ensino Superior de Manaus, hoje Centro Universitário Luterano de Manaus, vem desenvolvendo pesquisas através de seus alunos de mestrado, com o objetivo de obter materiais de construção para utilização em habitações populares, a partir de resíduos industriais. A borra de tinta poliuretana, subproduto dos setores de pintura das indústrias da Zona Franca de Manaus, atualmente, contribui para a poluição da cidade de Manaus e suas áreas adjacentes. Em decorrência do elevado número de indústrias, a cidade enfrenta problemas com o acúmulo de grandes depósitos de rejeitos sólidos, que são lançados em terrenos baldios urbanos e até mesmo em igarapés, com graves ameaças para os recursos hídricos, plantas e animais. Algumas indústrias do Distrito Industrial da Zona Franca de Manaus, certificadas com a ISO 14000, armazenam as cinzas resultantes do processo de incineração, classificadas como classe I segundo a NBR-10004, (1987), até que tenham uma destinação adequada e não causem poluição ao meio ambiente.

Este trabalho tem como objetivo efetuar um estudo de dosagem de argamassa e blocos de cimento portland com adição de resíduo de tinta poliuretana, visando sua utilização na construção civil. Esse estudo está relacionado com o custo da construção, possibilitando o uso do material modificado em habitações. Dessa forma, os resultados finais são: contribuir para redução do impacto ambiental na cidade de Manaus, AM, e apresentar um material alternativo para uso em habitações populares.

2. MATERIAIS

Os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram os seguintes:

cimento Portland CP-320 AF, marca NASSAU, e areia média da região, peneirada em malha ABNT nº 16 (1,2mm), provenientes do comércio da cidade de Manaus, AM.; resíduo de tinta poliuretana na quantidade de três amostras pesando em massa 20kg, provenientes do setor de pintura da indústria Moto Honda da Amazônia S/A e obtidas pelo processo de quarteamento e pré-caracterização, conforme norma brasileira NBR-10007. Esse material, que apresentava-se em forma de placas, com alto teor de umidade (35%), foi secado à temperatura ambiente e, em seguida, triturado em moinho de bolas e peneirado em malha ABNT Nº 16 (1,2mm).

3. MÉTODOS

3.1. Ensaio de caracterização

As composições granulométricas da areia e do resíduo foram feitas pelo método da ABNT (NBR-7217, 1987), com as peneiras nºs 16(1,2mm), 30 (0,6mm), 50(0,3mm) e 100(0,15mm). O resíduo foi inicialmente examinado em Microscópio Olympus CBC – Lente M40 – 065, com fator de correção da leitura de (46,38), para visualização da forma e dimensão média das partículas da amostra analisada.

Os traços utilizados na confecção das argamassas foram determinados tomando-se como base a literatura da ABNT e os tradicionalmente utilizados na construção civil. Os traços estão descritos na ordem decrescente partindo do aglomerante para o agregado (Tabela 1).

Tabela 1 – Traços de Argamassas

Traço em massa (cimento : areia : resíduo : água)	
1 : 2 : 0,1 : 0,46 1 : 2 : 0,15 : 0,53 1 : 2 : 0,2 : 0,60 1 : 3 : 0,2 : 0,69	Argamassas de assentamento
1 : 2 : 0,2 : 0,25 1 : 2 : 0,3 : 0,30 1 : 2 : 0,4 : 0,35	Blocos de fechamento e elementos vazados

O fator água/cimento foi determinado primeiramente para um índice de consistência de 255mm ± 10mm (NBR-13276, 1995). Em virtude da alta expansibilidade da argamassa, causada pelo fator água/cimento estabelecido, diversos testes foram feitos, para redução deste fator, de modo que as misturas não se expandissem. Efetuou-se estudo com argamassa de cimento, areia média e resíduo de tinta poliuretana, com consistência normal, para

assentamento de alvenarias e, também, na forma de mistura quase seca, para blocos utilizados em alvenarias de fechamento e elementos vazados.

Quanto aos corpos de provas, estes foram confeccionados em moldes cilíndricos, com diâmetro de 5cm e altura de 10cm, conforme norma da ABNT(NBR-7215, 1996), e submetidos a período de cura de 7 dias, em câmara climática microprocessada, à temperatura de 23°C e umidade de 95%.

3.2. Ensaios Físicos

A umidade natural da areia foi determinada em estufa a 100°C e a do resíduo a 70° C, por um período de 24 horas.

Quanto à massa específica aparente do resíduo, utilizou-se o método da ABNT (NBR-7251,1982), para determinação da massa específica aparente do material seco solto. Para a massa específica real do resíduo, foi utilizado o frasco de Le Chatelier e 25g de resíduo, juntamente com o reagente analítico xileno, conforme método da ABNT (NBR-6474, 1998).

Os ensaios de expansibilidade de Le Chatelier foram feitos conforme a NBR-11582, 1991 para as condições de cura a frio e quente para o traço de 1 : 0,1 de cimento e resíduo. Os testes de determinação do tempo de pega foram feitos conforme NBR-11581, 1991, para o traço de consistência normal de 1 : 0,1, de cimento e resíduo.

3.3. Ensaios Mecânicos

Os ensaios de resistência à compressão simples (RCS) foram efetuados utilizando-se argamassas destinadas a assentamentos de alvenarias e para confecção de blocos de fechamento e elementos vazados, NBR- 7215, 1996. Foi considerado o resíduo de tinta poliuretana incorporado como agregado à areia.

4. RESULTADOS

Verificou-se, após o peneiramento da areia, que esta possui uma distribuição granulométrica mais grossa quando comparada aos resultados obtidos com o resíduo de tinta poliuretana (Tabela 2 e 3). Isso decorre do fato do resíduo, Ter sido moído em moinho de bolas, permitindo-se um maior grau de finura do material.

Tabela 2 – Granulometria da Areia

# (mm)	Material Retido (g)	Material Retido – (%)	Acumulado – (%)
1,2	61	6	6
0,6	170	17	23
0,3	374	37	60
0,15	315	32	92
Fundo	80	8	100

Tabela 3 – Granulometria do Resíduo

# (mm)	Material Retido (g)	Material Retido – (%)	Acumulado – (%)
1,2	13	3	3
0,6	65	13	16
0,3	125	25	41
0,15	115	23	64
Fundo	182	36	100

O resíduo foi examinado em microscópio, sendo escolhidas aleatoriamente duas partículas para retirada de seu diâmetro médio. A menor partícula mediu 81 micra e a maior 145 micra, com coloração azul e vermelho (mescladas). As cores dependem das tintas que originam o resíduo. Observou-se, ainda, que as partículas tinham aparência de material plástico, brilhante, e possuíam furos em sua superfície.

O teor de umidade, tanto da areia quanto do resíduo foi calculado através da fórmula abaixo (1), onde h = teor de umidade, em porcentagem; P_u = peso úmido da amostra, em g; P_s = peso seco da amostra, em g. A areia foi seca em estufa à temperatura de 100°C, durante 24 horas. O resíduo foi secado em estufa à temperatura de 70°C, por um período de 24 horas. Optou-se por esta temperatura, em função das características plásticas do material. Os resultados são mostrados na Tabela (4).

$$h = \{ (P_u - P_s) / P_s \} \times 100 \quad (1)$$

Tabela 4 – Teor de Umidade

Areia	3,7 %
Resíduo de Tinta Poliuretana	1 %

Os ensaios para determinação do valor da massa específica aparente do resíduo, foram feitos somente com o resíduo, no estado seco solto (massa unitária), conforme NBR-7251, 1982, sendo obtido o valor de 0,322kg/dm³. Este resultado mostra que o resíduo é um material leve, ao ser comparado com a areia e o cimento, contribuindo para a confecção de argamassas e blocos com peso reduzido, já que um dos objetivos específicos deste trabalho é utilizá-lo em substituição ao agregado fino (areia).

Para a determinação da massa específica real do resíduo, uma amostra de 25g do material foi imersa no frasco de Le Chatelier, com reagente analítico xilol (xileno), sendo retirada após 24 horas, obtendo-se o resultado de 1,22kg/dm³.

Quanto a expansibilidade de Le Chatelier, foi preparada uma pasta de consistência normal, com 500g de cimento e 50g de resíduo traço 1: 0,1, e moldados seis corpos de prova, sendo três destinados ao ensaio a quente e

outros três para o ensaio a frio. O resultado do ensaio a quente mostrou o valor de $-0,8\text{mm}$, média das diferenças entre os valores iniciais e finais das agulhas, demonstrando uma alta expansibilidade e retração da pasta depois do processo de aquecimento, provavelmente causado pela composição essencialmente plástica do resíduo de tinta poliuretana. O ensaio a frio mostrou o valor de $10,4\text{mm}$, média das diferenças entre os valores iniciais e finais das agulhas, mostrando uma alta expansibilidade da pasta, devido ao excesso de água na mistura (Tabela 5). Reduziu-se a expansibilidade a quase zero, quando a mistura de cimento, areia e resíduo, foi feita com baixo fator água/cimento (forma seca).

Tabela 5 – Expansibilidade da Pasta (Cimento/Resíduo)

Pasta de Cimento e Resíduo Traço (1 : 0,1)	Agulha 1 (mm)	Agulha 2 (mm)	Agulha 3 (mm)
Medidas Iniciais à Quente	9,6	9,4	10,5
Medidas Finais à Quente	9,0	8,1	10,0
Medidas Iniciais à Frio	2,1	1,0	2,0
Medidas Finais à Frio	10,4	11,0	12,4

O ensaio para determinar o tempo de pega da argamassa de cimento e resíduo na proporção 1 : 0,1 foi feito com 454g de cimento, 45,4g de resíduo e fator água/cimento de 29,07%. O início de pega ocorreu com o tempo de 2h42 e o fim de pega 4h11, após o início da mistura, caracterizando um período de tempo superior ao normalmente encontrado nos testes de pasta de cimento portland CP-320F.

Verificou-se que a expansão da mistura causou porosidade na pasta endurecida, provavelmente pela reação cimento/resíduo, ou aumento do volume da água contida dentro das partículas do resíduo, em função da elevação de temperatura causada pela reação química do cimento. Testes químicos, e de componentes do resíduo serão efetuados para confirmação destes resultados.

Três séries de seis corpos de prova foram confeccionados, na proporção de 1:0,1, 1:0,2 e 1:0,3 de cimento e resíduo e submetidos à cura imersos em água por mais de 30 dias. Os corpos de prova foram expostos a intempéries durante seis meses, mostrando uma boa aderência do cimento, e sem quaisquer sinais de desagregação.

Nos testes iniciais para determinação da RCS, foram moldados corpos de prova com traço para argamassa de assentamento e revestimento de alvenarias de 1 : 2 : 0,1, misturados na seqüência cimento, areia e resíduo, com fator $a/c=46\%$. Logo após o procedimento das primeiras moldagens foi verificado que a alta expansibilidade da argamassa, já confirmada em teste específico, ocasionava transbordamento da mistura nas formas, formando cabeças de 1cm, não sendo possível após a desmoldagem, obter uma superfície plana para capeamento com enxofre. Após a retirada dos corpos de

prova das formas verificou-se que possuía fissuras e uma alta taxa de porosidade, tornando o material mais leve. Para compressão desses corpos de prova foi adotado o procedimento de desgastar com esmeril o excesso de argamassa, antes de retirar das formas (Tabela 6).

Estes resultados iniciais demonstram que a utilização deste tipo de material como agregado em argamassas, não terá boa aceitação em assentamento e revestimento de alvenarias, sendo mais apropriado para a utilização em argamassas expansivas para preenchimento de juntas de dilatação ou em serviços que exijam alta expansão para preenchimento de espaços entre elementos construtivos.

Outros testes com traços de consistência normal de 1:2:0,15, 1:2:0,2 e 1:3:0,2 foram feitos, e mostraram altas taxas de expansibilidade. Para minimizar a expansão, foi adotado, inicialmente, o critério de diminuição da água nas misturas. Obteve-se como resultado os traços de 1:2:0,20, 1:2:0,30 e 1:2:0,40, com fatores água/cimento de 25%, 30% e 35%, respectivamente, que não causaram expansão da mistura, quando colocadas nas formas para teste de compressão. Efetuou-se a moldagem de três corpos de prova para cada traço, e cura durante sete dias em câmara climática microprocessada, à temperatura de 23°C e umidade de 95%. Os testes de RCS realizados para os traços de argamassa para blocos mostraram aumento de resistência, com o incremento da porcentagem de resíduo de tinta poliuretana, mantendo-se as quantidades de areia e cimento. As resistências médias são mostradas na (Tabela 6).

Tabela 6 – Traço e Resistência a Compressão Simples

Aplicação	Traços em massa	RCS (MPa)
Argamassa de assentamento	1 : 2 : 0,1	0,50
	1 : 2 : 0,15	0,52
	1 : 2 : 0,2	0,53
	1 : 3 : 0,2	0,48
Blocos de fechamento e elementos vazados	1 : 2 : 0,2	0,78
	1 : 2 : 0,3	0,80
	1 : 2 : 0,4	1,14



5. CONCLUSÕES

As argamassas confeccionadas com este material alternativo, podem ser aproveitadas para assentamento de alvenarias, e, também, em argamassas expansivas, para preenchimento de juntas de dilatação, ou em serviços que exijam misturas com estas características. Quanto à utilização em blocos e elementos vazados, pode-se afirmar que a aplicação satisfaz as necessidades no que se refere à resistência mecânica, usualmente aplicada a esses elementos construtivos.

Conclui-se, também, que o aproveitamento desses resíduos é importante para a redução dos custos da construção, permitindo sua utilização em habitações populares.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Resíduos sólidos-classificação – NBR 10004. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Lixiviação de resíduo-procedimento – NBR 10005. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Solubilização de resíduo – procedimento – NBR 10006. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Amostragem de resíduo – procedimento – NBR 10007. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregados – Determinação da composição granulométrica – NBR 7217. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária – NBR 7251. Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Cimento Portland - determinação da resistência à compressão – NBR 7215. Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica – NBR 6474. Rio de Janeiro, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Cimento Portland - Determinação da água da pasta de consistência normal – NBR 11580. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Cimento Portland - Determinação do tempo de pega – NBR 11581. Rio de Janeiro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Cimento Portland - Determinação da expansibilidade de Le Chatelier – NBR 11582. Rio de Janeiro, 1991.
- AMORIM, L.V., Influência da área específica na reatividade do sistema pozolana – cal visando a obtenção de aglomerantes alternativos, Campina Grande: CCT/DEC/UFPB, 1999. 135p. Dissertação Mestrado.
- AMORIM, L.V. et al, Reciclagem de rejeitos da construção civil para uso em argamassas abaixo custo, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.3, n.2, p.222-228, 1999.
- COELHO, P.E.; CHAVES, A.P., Reciclagem de Entulho – Uma Opção de Negócio Potencialmente Lucrativa e Ambientalmente Simpática. Areia e Brita. São Paulo, 1998.
- VOROBIEV, V.A., Building materials. Moscow: Higher School Publishing House, 1965.112p.

 IBRACON	IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações São Paulo 5 e 6 de junho de 2001	 CT- 206 MEIO AMBIENTE
--	---	---

COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO CIVIL RECICLADO RESILIX

OLIVEIRA, Anagildes Caetano (1)

(1) Engenheiro civil formado pela UFPR em 1972, brasileiro, casado, empresário ligado à atividade da construção civil, sócio proprietário das empresas PROGEMIX- Programas Gerais de Engenharia e Construção Ltda e TECNIFH – Tecnologia e Construções Ltda. Rua Bariri, n 53 - Vila Glória – CEP 79004-240. Fone (067) 783.1776, FAX (067) 783.1794. Campo Grande/MS

E-mail: progemix@terra.com.br

Palavras-chave: Materiais, reciclagem, resíduos de construção, meio ambiente

RESUMO

A indústria da construção em geral altera o meio ambiente tanto em sua produção como, posteriormente em seu uso. É considerada a atividade humana de maior impacto sobre o meio ambiente quando de suas demolições e do volume de recursos naturais necessários (muitos não renováveis), e correspondente à pelo menos um terço do total consumido anualmente por toda sociedade.

1. INTRODUÇÃO

Ressalta-se que dos 40% de energia consumida mundialmente pela construção civil, 80% concentram-se no beneficiamento, produção e transporte de materiais, alguns até gerados de emissões líquidas ou gasosas que provocam o aquecimento global, chuva ácida, poluição do ar e crescente contaminação dos solos e mananciais, preocupação mundial em quantidade e qualidade nos dias atuais.

2. DESENVOLVIMENTO

Neste projeto estão sendo desenvolvidos componentes construtivos com bom desempenho a resistência mecânica, a durabilidade, a absorção de água, a acústica e principalmente, quanto ao desempenho térmico, a partir de uma pasta, reforçada com fibras de celulose, obtidos da reciclagem de resíduos de construção civil, resíduo cerâmico e de embalagem de papel que, finamente moídos, são aglutinados por uma pasta de cimento marca Portland e aditivo, assim descritos:

Blocos de encaixe vazados obtidos através de prensa hidráulica, assentados sem argamassa, e sem necessidade de reboco e intertravados, com apenas pingos de cola para um perfeito travamento, conforme Figura 2.1.



Figura 2.1

Telha tipo ondulada, prensada (telha teste). Também esta em desenvolvimento telha “tipo cerâmica”, e “tipo amianto” com métodos semelhantes de prensagem, com forma diferenciada, conforme Figura 2.2.



Figura 2.2

Painéis para forro, são placas armadas, obtidas em formas metálicas, com material somente vibrado, de acordo com a Figura 2.3.



Figura 2.3

Painéis vazados auto-portantes para parede e pilares, obtidos de formas metálicas, de acordo com a Figura 2.4.



Figura 2.4

Montagem de casa sobre “radier” de concreto mostradas nas Figuras 2.5 e 2.6.



Figuras 2.5



Figuras 2.6

Casa pronta. Pode-se então chapiscá-la, azulejá-la ou pintá-la, diretamente sobre a superfície já bem aprumada e lisa. A telha usada na casa teste foi obtida através de laminação manual, tendo como forma uma telha ondulada e usando-se pasta resilix. Prensa Hidráulica em produção de blocos. Figura 2.7.



Figura 2.7

3. COMPOSIÇÃO DO MATERIAL

Cimento Portland – 10/20%;

Fibras de celulose obtidas pela trituração e moagem de embalagens de cimento/(papel Kraft), papelão, papéis em geral, inclusive o tetra-pak-40/45%;

Resíduos de construção civil finamente moídos, principalmente cerâmica vermelha- “pozolonas” - 40/45%;

- Aditivo (patenteado)*
- Água;
- *Patente nº PI- 9503906/97-Porto Alegre Agência de Marcas e Patentes Ltda.

4. OBJETIVO

A melhoria e a ampliação do ambiente construído com o emprego de um volume proporcionalmente inferior de recursos naturais são, certamente, os maiores desafios da construção civil mundial e, maior ainda, nos países em desenvolvimento, onde é necessário construir uma quantidade maior de bens.

Nesta filosofia, este projeto pretende colocar à disposição do poder público e do mercado da construção civil, em nível de escala, produtos (componentes construtivos) e processo construtivo que possibilitem a produção de edificações a custos reduzidos e, com ótimo desempenho termo/acústico (qualidade de vida), dentro de uma expectativa de desenvolvimento sustentável, que pode ser entendido como “..fechar ou esgotar o ciclo da substância/material na sociedade através do reuso e da reciclagem , minimizando o impacto sobre os recursos naturais não renováveis e minimizando o uso de energia, alto nos processos de produção primária” ou, “..demandar a preservação dos recursos naturais de maneira a garantir para as gerações futuras iguais condições de desenvolvimento – igualdade entre gerações – mas, também, maior equidade no acesso aos benefícios do desenvolvimento – a igualdade intrageração.

5. ESTÁGIO ATUAL DO PROJETO

Produção de blocos vazados, utilizando-se máquinas de produção de blocos de concreto. Processo final de desenvolvimento de máquina vibro/prensa para a produção de blocos vazados de encaixe e telhas e em desenvolvimento de estruturas para a produção de painéis vazados para parede e laje.

5.1. Intensidade de inovação tecnológica

Tem se constituído um desafio cada vez mais presente e intenso para a construção civil, a redução do consumo de materiais e de matéria-prima naturais para a produção de um mesmo bem. Este objetivo pode ser atingido, também, pela redução e reciclagem dos resíduos gerados pela própria indústria da construção civil, incorporando os resíduos na produção de materiais e componentes para esta indústria. A produção de componentes a partir da reciclagem de resíduos da construção civil (RCC), com base na cerâmica vermelha, reforçado com fibras orgânicas, representa a superação à de um

desafio tecnológico que tem merecido atenção de vários pesquisadores, ao longo do tempo, principalmente no tocante ao desempenho quanto à durabilidade dessas fibras.

Outros aspectos podem ser considerados tais como a forma, dimensão, encaixe e peso dos componentes desenvolvidos que barateiam o processo construtivo, tanto pela redução de insumos complementares argamassas de assentamento e revestimento, quanto pela maior velocidade de aplicação, se comparados com o processo construtivo tradicional.

6. ANÁLISE DO CUSTO/BENEFÍCIO

Desconsiderando o benefício ambiental/qualidade de vida, que por si só pagaria qualquer investimento, o potencial de negócio é muito grande, sendo que o poder público (municípios) pode se tornar o grande usuário e parceiro no processo, pois pode incorporar em seus programas de moradias sociais, um produto mais barato, com maior conforto e qualidade ambiental.

Dentro do programa Brasil Joga Limpo, previsto para o período de 2000 a 2003, o Ministério do Meio Ambiente vem desenvolvendo várias ações e, uma delas, contida no Edital nº 02/2000 do FNMA, propõe em parceria com os municípios entre 220 e 25 mil habitantes, financiar a elaboração e implantação de Planos de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos para os entulhos de construção, o que permitiria uma coleta, deposição e utilização seletiva de resíduos de construção civil em locais pré-estabelecidos, viabilizando a instalação de plantas para a produção dos componentes junto à “matéria – prima”.

Complementando o processo, poder-se-ia estabelecer incentivos (selo verde) às empresas que utilizassem esses componentes na produção de moradias/edificações.

6.1. Resultados Sociais

O produto em desenvolvimento conjuga uma série de aspectos de grande relevância social:

- Preservação de recursos naturais (redução no consumo de matéria-prima natural);
- Aumento da vida útil dos aterros de deposição dos resíduos sólidos urbanos;
- Viabiliza a implantação de projetos de integrada de resíduos urbanos, gerando empregos (cooperativas) e melhoria da qualidade de vida na periferia urbana, pela redução das deposições irregulares de entulho;
- Custo dos insumos (matéria-prima e energia) é 30% menor, se comparado ao processo construtivo tradicional, possibilitando ao poder público produzir mais edificações sociais, com ótimo desempenho no requisito conforto termo/acústico (melhoria da qualidade de vida);
- Criação de novas empresas para trabalhar com tecnologia.

6.2. Resultados Econômicos

Ampliação do mercado e do faturamento das empresas de construção civil.

6.3. Integração: Universidades e Centros Tecnológicos

O desenvolvimento do material e dos produtos tem oportunizado a participação de instituições de pesquisa e tecnologia, tanto na caracterização dos materiais, quanto na caracterização e avaliação do desempenho dos componentes.

Relacionamos abaixo, as instituições que já colaboram:

- Universidade Federal de Santa Maria - RS
- Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – MS
- Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC – RS
- Fundação universidade do Rio Grande – RS
- INTEGRIX Testing Systems – USA
- H.C NUTTING COMPANY – Geotechnical, Environmental and Testin Engineers.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Segurança estrutural;
- Não inflamável – até 1200°C;
- Estandeidade;
- Conforto termo/acústico;
- Durabilidade;
- Leveza;
- Outros.

7. CONCLUSÃO

A indústria da construção em seu segmento urge, como prioridade da humanidade não só pelas considerações antes manifestadas, mas por ser seu maior meio de abrigo, aconchego e privacidade de âmbito particular, profissional e recreativo, buscar melhoria na qualidade de vida, que é o fator decisivo para a implantação deste projeto.

8. REFERÊNCIAS

OLIVEIRA, A.C. Progemix - Componentes de Construção Civil Reciclados Resilix 2000. Prêmio FINEP e Inovação Tecnológica, 1º Lugar Região Centro Oeste, indicação ao Premio Nacional Rio de Janeiro RJ - Premiação categoria ouro, Rio de Janeiro, 2000.

OLIVEIRA, A.C. Progemix - Programas Gerais de Engenharia e Construção Ltda, de Campo Grande MS, apresentou a sugestão natureza viva – Casa Ecologicamente Correta, no Prêmio CNI de Incentivo à Qualidade e Produtividade - 1º lugar Região Centro Oeste Premiação e 2º lugar Nacional, MS, 2000.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

ESTUDO PARA O DESENVOLVIMENTO DE TUBOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE VIDRO

OLIVEIRA, Márcio J. Estefano (1); ASSIS, Cássia Silveira (2)

- (1) Doutorando Pesquisador em Geociências e Meio Ambiente pelo IG/UNESP MSc. pela EPUSP – Departamento Engenharia de Construção Civil e Urbana - USP; Professor do Departamento de Engenharia Civil da UNESP e da UNITAU; membro do Comitê de Construção Civil e Meio Ambiente , CT-206 do IBRACON. ; mcconsul@uol.com.br; estefano@feg.unesp.br
- (2) Doutoranda Pesquisadora em Geociências e Meio Ambiente pelo IG/UNESP, MSc. pelo INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais; Professora da Escola de Engenharia Mauá; membro do CT-206 do IBRACON. mcconsul@uol.com.br

Palavras-chave: compósitos, fibras, tubos, rejeitos de fibra, meio ambiente.

RESUMO

Apresenta-se o desenvolvimento de tubo polimérico reforçado com fibras de vidro com adição de rejeitos fibrosos, para emprego na construção civil. O compósito consiste em um material alternativo na produção de tubos para galeria de águas pluviais, redes de esgoto, abastecimento de água e sistemas de drenagem. Atualmente muitos compósitos fibrosos são empregados em obras de construção civil, e geralmente os estudos são realizados com o setor produtivo, para garantir a transferência de tecnologia com benefícios à sociedade. Os compósitos fibrosos constituem grande parte dos novos materiais como o concreto e a argamassa de cimento Portland reforçados com fibras de aço, de polipropileno, de vidro e vegetais; o gesso reforçado com fibras; os polímeros reforçados com fibras de vidro, de carbono e outras. O material estudado tem boa resistência à tração e compressão. É constituído de uma matriz em resina poliéster com agregado miúdo e reforçado com fibras de vidro e rejeitos de fibras de vidro provenientes da indústria de plásticos reforçados com fibras de vidro. O novo material tem boas propriedades mecânicas ao mesmo tempo em que sua utilização através da reciclagem minimiza impactos ao meio ambiente pelo emprego de rejeitos fibrosos.

1. INTRODUÇÃO

Em sentido restrito, o termo compósito, ou material composto é resultado da adição de fibras longas ou curtas a uma matriz. Os compósitos são também conhecidos como plásticos reforçados com fibras de vidro, PRFV, ou Fiberglass.

O estudo destes compósitos tem despertado grande interesse dos pesquisadores, pois possuem boa resistência à tração, ao impacto, à fadiga, boa tenacidade e ductilidade. Oferecem grande segurança ao evitar a ruptura brusca e facilitam a moldagem de formas complicadas.

No caso particular da Indústria da Construção Civil, as matrizes mais empregadas são frágeis, rompem-se por deformação plástica notadamente pastas, argamassas e concretos de aglomerantes minerais como o cimento Portland, e em menor escala, a cal e o gesso. Segundo AGOPYAN (2000) com a adição de fibras nestas matrizes é possível melhorar as suas propriedades mecânicas, como a resistência à tração, à flexão e ao impacto.

A argamassa de resina é particularmente impermeável aos líquidos e gases e a retração deve ser combatida com a utilização de agregados como a areia de rio. As argamassas poliméricas são afetadas sensivelmente no que diz respeito à resistência quando a temperatura se eleva acima de 60 °C.

A primeira patente sobre concreto com o uso de polímero se deu na Inglaterra, em 1924, e se referiu à utilização de borracha natural. O uso de látex sintético para modificar os concretos de cimento Portland só foi sugerido em 1932, e o PVA foi usado em 1933. Em 1940, na Inglaterra, as argamassas e concretos de cimento Portland com adição de látex foram usados para confecção de convés de navios, tabuleiros de pontes e pisos anticorrosivos. Nos Estados Unidos se iniciaram em 1952, sendo que a primeira utilização prática foi na restauração do tabuleiro da ponte de Cheyboygan, Michigan, em 1959 e que, ainda hoje, mais de 40 anos depois, ainda apresenta boas condições de utilização. Na Austrália é utilizado principalmente para fabricação de tubos para transporte de líquidos quimicamente corrosivos. No Japão, para tubos de esgotos industriais, pisos de indústrias químicas e alimentícias. Na Rússia, é também usado como tubos para esgotos, vertedouros de barragens e postes de transmissão de eletricidade.

2. TUBOS PARA ÁGUAS PLUVIAIS

2.1. Tubos enterrados

A tubulação enterrada fica sujeita a esforços longitudinais que ocorrem pela ação da pressão interna e do efeito da velocidade do fluido, e ação da temperatura. A tubulação fica também sujeita à ação de esforços tangenciais causados pela pressão interna do líquido, esforços de compressão e flexão causados pelo peso próprio do tubo, peso de solo sobre o tubo, pela reação de apoio e cargas acidentais sobre a tubulação assentada no seu leito.

O trabalho trata do dimensionamento de tubos para galeria de águas pluviais e para tanto considera a norma NBR 9793 que trata das especificações para tubos de concreto de seção circular para águas pluviais. A norma fixa os parâmetros de resistência à compressão diametral e as dimensões mínimas de

tubos de concreto destinados à condução de águas pluviais sob pressão atmosférica, segundo a Classe que caracteriza as condições de emprego em função da carga de ruptura no ensaio de compressão diametral e o diâmetro do tubo.

A carga diametral de ruptura é a relação entre a carga de ruptura e o diâmetro nominal (DN), expressa em carga por metro. Para tubos com diâmetro menores que 400 mm, a carga mínima de ruptura é a correspondente a esse valor. Outras classes podem ser admitidas mediante acordo entre comprador e fornecedor, devendo ser satisfeitas as condições estabelecidas na norma para os tubos de classe normal. A resistência à compressão diametral deve ser, no mínimo, uma das indicadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Resistência à compressão diametral

Diâmetro Nominal (DN) mm	Carga mínima de ruptura (kN/m)				
	C1	C2	C3	C4	C5
200	16,0	24,0	32,0	40,0	48,0
300	16,0	24,0	32,0	40,0	48,0
400	16,0	24,0	32,0	40,0	48,0
500	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0
600	24,0	36,0	48,0	60,0	72,0
700	28,0	42,0	56,0	70,0	84,0
800	32,0	48,0	64,0	80,0	96,0
900	36,0	54,0	72,0	90,0	108,0
1000	40,0	60,0	80,0	100,0	120,0

2.2. Carga de aterro sobre tubos flexíveis

A figura 2.1 ilustra a colocação de tubo flexível assentado em vala submetido ao peso solo de aterro. A carga vertical que atua sobre os tubos flexíveis colocados em valas com reposição do solo de aterro por compactação cuidadosa tem intensidade aproximadamente igual a:

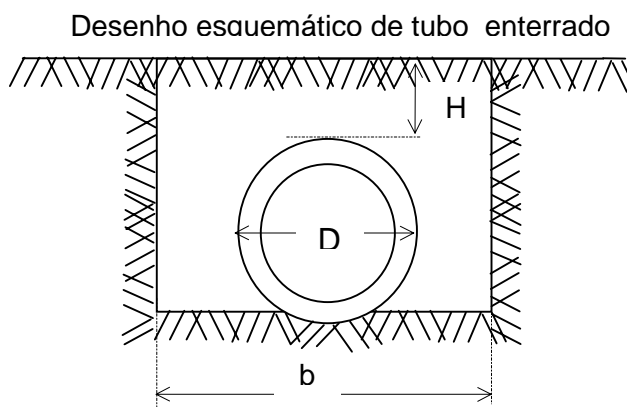


Figura 2.1 – Tubo flexível colocado em vala

Onde:

P = carga concentrada (kgf);

H = profundidade do ponto onde se pretende determinar a pressão (m);

H_B = distância oblíqua entre a aplicação de P e o ponto considerado (m);

p = pressão (kg/m²).

2.4. Colapso da canalização

Pode-se calcular a pressão de colapso de uma canalização em função da espessura, do diâmetro e da pressão provocada pelas cargas que atuam na tubulação, pela fórmula:

$$f = \frac{p D}{2 e} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Onde:

P = pressão de colapso (MPa);

e = espessura da parede do tubo (m);

D = diâmetro do tubo (m).

2.5. Tubos com anéis

Quando a tensão causada pelas cargas é superior à tensão admissível do tubo o material se rompe, neste caso há necessidade da colocação de anéis de cintamento no tubo. As equações dadas em Eq. 2.4 e Eq. 2.5 são utilizadas para o dimensionamento de tubos com anéis.

A deformação é dada por:

$$\beta = \sqrt{\frac{3 \cdot (1 - \mu^2)}{r^2 \cdot e^2}} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

A pressão ocasionada pela deformação é calculada pela expressão:

$$\begin{aligned} & \frac{P \beta r^2}{E e} \cdot \frac{\cos e \beta l + \cos e \beta}{\sin e \beta l + \sin e \beta} - \frac{P b r^2}{2 E e} \cdot \frac{(\sin e \beta l - \sin e \beta)^2}{(\sin e \beta l + \sin e \beta) \cdot (\cos e \beta l + \cos e \beta)} = \\ & = \frac{p r^2}{E e} - \frac{P r^2}{S E} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

A tensão máxima em tubos reforçados com anéis é calculada pela Eq. 2.6 para o caso de tubo submetido a uma pressão interna uniforme ou externa também uniforme. A fórmula é dada por:

$$f_{\max} = \frac{2}{3} \cdot \frac{P}{e^2} \cdot \sqrt{\frac{r^2 \cdot e^2}{3 \cdot (1 - \mu^2)}} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

Onde:

P = pressão interna por metro produzida pelo anel (MPa);

p = pressão interna (MPa);

S = área da seção transversal do anel (m²);

β = deformação transversal (m);

- μ = coeficiente de Poisson;
 r = raio (m);
 e = espessura do tubo (m);
 E = módulo de elasticidade do compósito (MPa);
 l = distância entre os anéis (m);
 $f_{\text{máx}}$ = tensão de flexão máxima (MPa).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Polímeros

Os polímeros são estudados e têm grande aplicação na engenharia civil atual e participam do rápido desenvolvimento das conquistas tecnológicas. Os polímeros aplicados na Engenharia podem ser termoplásticos e termofixos. Os polímeros são macromoléculas com peso molecular da ordem de milhões, formados a partir de elementos ou compostos químicos, como por exemplo, o cloreto de polivinila.

Do ponto de vista químico, as resinas são geralmente divididas em função do mecanismo de associação das unidades monoméricas em polímeros de adição ou polímeros de condensação. Um monômero é uma molécula ou um composto químico de peso molecular relativamente baixo, capaz de ser transformado em polímero através da combinação entre si ou com outros compostos similares.

Essa reação de síntese que converte um monômero em polímero recebe o nome de polimerização. A polimerização por adição se diz da reação de moléculas idênticas de um ou mais monômeros, portadores de uma ou mais ligações duplas. A presença do catalisador tem a propriedade de abrir a ligação, formando assim moléculas ativas capazes de formar polímeros de cadeia linear. No caso de ligações múltiplas, obtém-se polímeros em rede bi ou tridimensional. A polimerização por condensação forma macromoléculas a partir de um ou mais compostos que tem várias funções químicas, idênticas ou não, com a eliminação de resíduos, como a água.

3.2. Resina Poliéster

Os poliésteres são produtos obtidos a partir da condensação de álcool e ácidos dibásicos ou polibásicos. Entretanto, no uso comum, o termo poliéster quando empregado sozinho, é sinônimo de resina poliéster insaturada. Os poliésteres insaturados endurecidos por copolimerização ou resinas poliésteres são os poliésteres lineares obtidos pela policondensação de um glicol saturado com um ácido não saturado, dissolvidos num monômero do tipo vinílico capaz de copolimerizar com o poliéster. É este tipo de resina poliéster que é empregada na fabricação de argamassas e concretos poliméricos.

A velocidade de cura do poliéster depende de sua reatividade, do teor de catalisador e acelerador e das condições ambientais. Os poliésteres mais reativos curam mais rapidamente que os menos reativos. Os teores de catalisador e acelerador, bem como a temperatura ambiente, também têm influência marcante na velocidade de cura.

3.3. Agregado Miúdo

Entende-se por agregado miúdo normal ou corrente a areia natural quartzosa ou o pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis, com tamanhos de partículas tais que no máximo 15% ficam retidos na peneira de 4,8 mm (PETRUCCI, 1993). O emprego de areia em conjunto com aglomerante gera grandes vantagens do ponto de vista econômico e mecânico. Por ser um material de baixo custo, a areia é associada à resina poliéster visando economia e estabilidade dimensional da matriz. Na produção do compósito empregou-se areia fina quartzosa de rio com módulo de finura inferior a 2,4.

3.4. Fibra de Vidro

As fibras de vidro possuem estabilidade dimensional, resistência ao calor e boas propriedades mecânicas. São especialmente desenvolvidas para ter bom desempenho tanto na laminação como no produto acabado. Para o desenvolvimento do compósito empregou-se fibra de vidro “E” que é um borossilicato de alumina com baixo teor de óxidos alcalinos. Suas principais características são: a) bom desempenho à fibragem; b) propriedades mecânicas elevadas; c) alta resistência a hidrólise que lhe permite conservar suas propriedades dielétricas nas condições mais severas. Este vidro é fibrado sob a forma de filamentos de baixo diâmetro, 5 a 24 micrometros, de acordo com os produtos. Centenas de filamentos são agrupados para constituir o “fio base”.

O número e o diâmetro dos filamentos determinam a massa linear do fio de base expressa em “tex” (1 tex = 1g/km). Os fios podem receber torção, ser agrupados, retorcidos, como os fios têxteis tradicionais. Trata-se das apresentações ditas “têxteis”. Um número de fios de base pode ser agrupado sob a forma de “rovings”, distribuídos sob a forma de mantas ou apresentados sob a forma de fios picados de alguns milímetros. Tabela 3.1 mostra as propriedades da fibra tipo “E” (VETROTEX, 1995).

Tabela 3.1 – Propriedades características da fibra “E”

Propriedades	Fibra de vidro “E”
Densidade (kg/m ³)	2.580
Propriedades químicas	Resistência à hidrólise
Propriedades mecânicas:	
- Solicitação à ruptura à tração (MPa)	3.400
- Módulo de elasticidade à tração (GPa)	73
- Alongamento de ruptura à tração (%)	4,6

3.5. Rejeito de Fibras

A indústria de carrocerias de veículos automotores descarta grandes quantidades de fibra de vidro embebidas em matriz de resina poliéster que não se degrada com facilidade trazendo riscos ao meio ambiente. Este material entra na composição do compósito como carga e como reforço em razão do elevado percentual de fibra de vidro utilizada na produção das carrocerias. Segundo CARVALHO (2000), a produção anual de resíduo é dada pela seguinte expressão:

$$R = \frac{(1 - \alpha) \cdot MT \cdot \Delta}{\Delta + \frac{A}{P}} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

onde:

R = resíduo total gerado ao ano em toneladas;

α = coeficiente de evaporação do estireno;

MT = quantidade total de material (fibra, resina, gelcoat, etc.);

Δ = largura da faixa de material aplicada fora do molde que é a rebarba acrescida do “overspray”;

A = área da peça em m²;

P = perímetro rebarbado em m.

Os valores adotados para satisfazer a Eq. 3.1, tomando-se como exemplo a produção de uma caixa d’água em “fiberglass” são: $\alpha = 0,07$; $A/P = 0,5$; $\Delta = 0,07$. A produção de matérias primas consumidas nos processos, no Brasil, correspondem a: Roving, 18.000 ton; Manta, 4 000 ton; Resina, 44.000 ton; Gelcoat, 12.000 ton, totalizando 80.000 ton de matérias primas consumidas pelas indústrias para a produção do “fiberglass”. Assim, para o Brasil, sabe-se que o consumo total de matérias-primas nos processos de molde aberto é $MT = 80.000$ ton/ano que substituindo na Eq. 2.1 fornece 10.000 ton/ano de resíduo. Esta quantidade de rejeito não tem destinação adequada e se constitui em um descarte poluente que traz danos ao meio ambiente.

3.6. Produção do Compósito

3.6.1. Dosagem

Conforme descrito anteriormente, a matriz de argamassa polimérica foi desenvolvida com resina poliéster e areia quartzosa fina. O compósito se constitui, portanto numa matriz polimérica reforçada com fibra de vidro e rejeito de fibra de vidro.

Após a caracterização da matéria-prima e dos ensaios prévios o traço da argamassa adotado foi o seguinte: 1 : 4 : 0,05 : 0,05 : 0,01. O traço está na seqüência: resina poliéster, areia, fibra de vidro, rejeito de fibra de vidro e catalisador. Através dos experimentos foi possível determinar o método de preparação da mistura compreendendo a pesagem, ordem de mistura das substâncias líquidas, da areia e da fibra, homogeneização de todos os

materiais, tempo de mistura de cada etapa, método de moldagem, tipo de adensamento, medida de trabalhabilidade, temperatura de polimerização, tempo de endurecimento, determinação da massa específica do compósito.

3.6.2. Equipamentos

Foram produzidos 6 corpos de prova para ensaio da resistência à compressão utilizando-se formas cilíndricas de 50 mm de diâmetro com 100 mm de altura e 6 corpos de prova empregados no ensaio à flexão para determinação da resistência à tração com as seguintes dimensões: comprimento de 300 mm, largura de 150 mm e espessura de 50 mm.

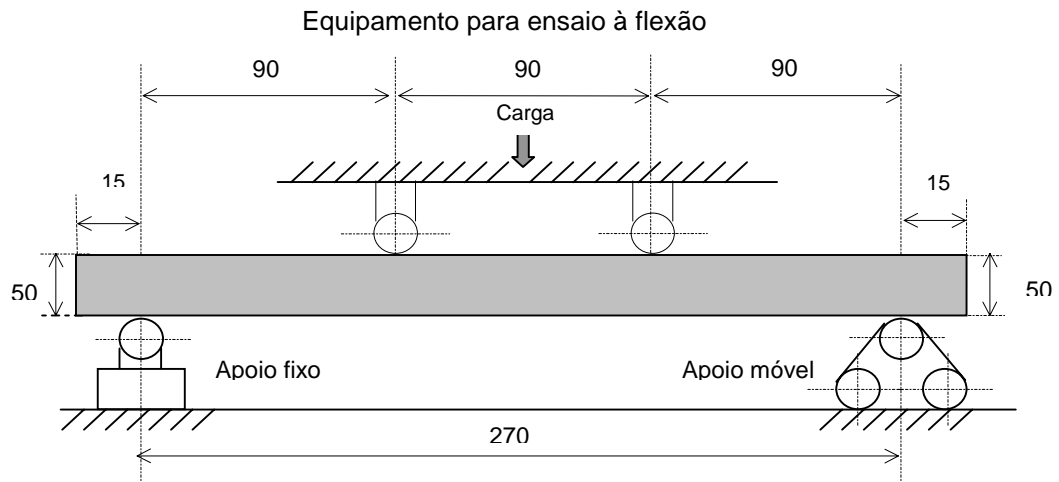


Figura 3.2 – Desenho esquemático do equipamento (medidas em mm)

A determinação do módulo de ruptura das placas foi realizada com base nas prescrições da norma ASTM C - 78. Os ensaios foram realizados após 72 horas do endurecimento dos espécimes. A Figura 3.2 ilustra esquematicamente o equipamento de quatro cutelos empregado para o ensaio à flexão das placas. O cálculo do módulo de ruptura é dado por:

$$f_t = \frac{P \cdot l'}{C \cdot e^2} \quad (\text{Eq. 3.2})$$

A fórmula teórica de placa é proposta pela ASTM C – 78, onde:

f_t = resistência de tração na flexão em (MPa);

P = carga aplicada (N);

l' = distância entre apoios (mm);

C = largura do corpo de prova (m);

e = altura do corpo de prova (mm).

4. RESULTADOS

4.1. Ensaios

O resultado dos ensaios à compressão e à tração dos espécimes cilíndricos e das placas apresentou os seguintes resultados conforme estão indicados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resultado dos ensaios

Corpo de prova Valor médio de 6 unidades	Matriz f_c (MPa)	Compósito f_t (MPa)	Módulo de elasticidade E (MPa)	Coefficiente de Poisson (μ)
CP - Cilíndrico	60	58	9393	0,25
CP - Placa	12	18		

Onde:

f_c = resistência à compressão simples;

f_t = módulo de ruptura;

E = módulo de elasticidade;

μ = coeficiente de Poisson.

A tensão admissível calculada a partir das cargas atuantes e empregando-se um fator de segurança (FS) igual a 1,2 e as equações Eq. 2.1, Eq. 2.2 e Eq. 2.3 encontra-se o valor $F_{adm} = 120$ MPa o que implica no dimensionamento dos tubos com aplicação de anéis de cintamento, pois:

$$f_{calc} > f_{adm} = 15 \text{ MPa}$$

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4.1 e aplicando as equações de Eq. 2.4 a Eq. 2.6, tem-se os seguintes valores:

A Eq. 2.4 fornece $\beta = 3,125 \times 10^{-5}$ m;

A Eq. 2.5 fornece $P = 2,98$ MPa;

A Eq. 2.6 fornece $f_{max} = 10,6$ MPa

Os anéis colocados no tubo atendem as condições de projeto porque fornecem uma tensão de trabalho abaixo da tensão admissível $f_{max} < f_{adm}$.

As Figuras 4.1 e 4.2 ilustram os tubos do tipo ponta e bolsa conectados e também sendo colocados em uma vala para teste.

Tubo em compósito fibroso



Figura 4.1 – Vista do tubo em compósito

A Fig. 4.1 mostra vista parcial de tubo do tipo ponta e bolsa conectado e apoiado no piso do laboratório. A Fig. 4.2 mostra o assentamento de tubos em vala de pequena largura, onde se nota a facilidade de manuseio e a pequena espessura dos tubos.



Figura 4.2 – Assentamento de tubo em compósito

5. COMENTÁRIOS FINAIS

O compósito desenvolvido apresentou bons resultados no que se refere às tensões obtidas após a ação dos carregamentos. Isto pode ser verificado quando se compara a máxima tensão de tração e compressão em relação à tensão admissível do compósito.

Outra vantagem é o emprego dos rejeitos da indústria do “fiberglass” o que minimiza os impactos ambientais. Além desta vantagem o material tem baixa massa quando comparado com materiais tradicionais de mesmo diâmetro e comprimento para aplicações em trabalhos semelhantes facilitando o transporte e a colocação em valas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. Developments of Vegetable Fibre Reinforced Cementitious Materials in São Paulo. p. 90-102. **Anais**. PB: UFPB, 2000.

AMERICAN SOCIETY TESTING AND MATERIALS – ASTM, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete. **ASTM C 239 82**.

CARVALHO, A. Deposição de Resíduos Sólidos na Indústria de Compósitos. II Seminário: Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. IBRACON. Instituto Brasileiro do Concreto. Comitê Técnico CT 206 – Meio Ambiente. **Anais**. EPUSP. pp. 43-50. São Paulo, 2000.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland**. 12 Ed., Editora Globo, 307 pp., São Paulo, 1993.

TIMOSHENKO, S.P. **Resistências dos Materiais**. 3ª Edição. Ao Livro Técnico, pp. 518. Rio de Janeiro, 1966.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**ESTUDO DE DIFERENTES FORMAS DE CURA EMPREGADAS
EM MATRIZES SOLIDIFICADAS**

LUZ, Caroline Angulski (1); **ROCHA**, Janaíde Cavalcante (2); **CHERIAF**,
Malik (3)

- (1) Mestranda de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina
R.: Lauro Linhares, 1670 – Condomínio Santa Martha, Bloco B, apto 201,
Trindade, Florianópolis, CEP: 88036-020. Fones: (48)233-6170/ (48)331-
5170. E-mail: caroline@npc.ufsc.br
- (2) Professora Adjunto UFSC, Dr. Ing.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Civil – ECV
Núcleo de Pesquisa em Construção – NPC
Campus Trindade – CEP 88040-900
Florianópolis – SC. E-mail: janaide@npc.ufsc.br
- (3) Professor Visitante UFSC, Dr. Ing.
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Departamento de Engenharia Civil – ECV
Núcleo de Pesquisa em Construção – NPC
Campus Trindade – CEP 88040-900
Florianópolis – SC. E-mail: malik@npc.ufsc.br

Palavras-chave: estabilização/solidificação, construção civil, resíduos industriais

RESUMO

As limitações de espaço existente para dispor os subprodutos gerados pelas indústrias e o aumento da preocupação ambiental trouxe o setor da Engenharia Civil para a investigação de caminhos alternativos que possibilitem depositar tais rejeitos de forma segura e econômica. Diante disto, a construção civil vem estudando a solidificação/estabilização de resíduos como uma técnica de obtenção de novos materiais de construção. Neste processo, através da adição de aglomerante ao resíduo, a matriz adquire resistência durante o processo de cura e os compostos poluentes ficam fixados aos compostos hidratados do cimento. Neste estudo, o subproduto tratado é o lodo industrial têxtil e o

aglomerante empregado é o cimento Portland tipo I, com substituição parcial de cinza pesada. O estudo envolveu testes mecânicos, além de procedimentos para ajudar na determinação da integridade estrutural e da durabilidade, tais como, difração de raios - x (DRX) e análises térmicas diferenciais (TG-ATD) ao longo de suas idades. Estes experimentos foram efetuados em várias dosagens (previamente definidas) e testados com diferentes métodos de cura, de forma a possibilitar uma análise da eficiência de cada uma delas quando aplicadas em processos de solidificação/estabilização. Quanto aos resultados de resistência mecânica, percebeu-se que, excetuando-se a primeira idade (7 dias), a cura em câmara úmida foi a menos eficiente, para a maioria dos traços. Já, as análises de DRX e ATD mostraram curvas semelhantes para curas diferentes.

1. INTRODUÇÃO

Diante das dificuldades de dispor resíduos industriais adequadamente, vários deles vem sendo vistos como materiais alternativos aos convencionalmente usados na construção civil. Dependendo de suas características químicas e físicas, a solidificação/estabilização pode permitir a obtenção de novos materiais a partir de subprodutos, visando abaixar o seu custo e permitindo uma disposição segura uma vez que a liberação de compostos tóxicos por meio destes pode causar sérios danos ao ambiente.

A solidificação/estabilização é uma técnica de tratamento de resíduos empregada em vários países desenvolvidos e vem sendo estudada com o propósito de incorporar os subprodutos tratados na construção. Visa solidificar o resíduo por meio de adições de aglomerantes e de materiais pozolânicos. Assim, devido às reações de hidratação do cimento, a matriz obtida apresenta progressivo aumento de resistência mecânica ao longo do processo de cura. Desta forma, os componentes presentes no subproduto ficam presos na matriz por barreiras físicas e químicas. Para LIN (1996) a solidificação/estabilização é um dos mais eficientes tratamentos para controle de resíduos perigosos, porém, uma das maiores preocupações é a estabilidade da matriz sólida tratada.

Portanto, a eficiência do processo requer uma série de conhecimentos, principalmente aqueles que estão relacionados à microestrutura da matriz formada. Diante disto, o estudo fez uso de técnica de análises térmicas diferenciais (ATD), difração de raios x (DRX) em corpos-de-prova submetidos à cura úmida (em câmara com 100% de umidade) e cura saturada em água com cal. Foram realizados também ensaios de resistência à compressão, incluindo neste a cura saturada em água potável, visando investigar a cura mais eficiente segundo o aspecto mecânico.

Neste estudo, o subproduto investigado foi a lama de indústrias têxteis e o aglomerante empregado foi o cimento Portland I, com substituição parcial de cinza pesada, sendo que esta última, por se tratar também de outro resíduo industrial, apresenta um valor comercial praticamente nulo, propiciando um menor custo do produto final.

2. MATERIAS E MÉTODOS

2.1. Moldagem

Os traços das misturas solidificadas estudadas bem como a relação água-cimento (a/c) empregada são dados pela tabela 1, abaixo.

Tabela 1 - Composição dos traços estudados

Traço	Composição			A/C
	Lodo	Cinza	Cimento	
3.1.6	30	10	60	0.68
3.2.5	30	20	50	0.80
3.3.4	30	30	40	0.97
3.4.3	30	40	30	1.21

O cimento empregado foi o CP-I-S32 (sem aditivo). A dosagem das misturas foi feita considerando a massa total dos materiais e a quantidade de água adicionada na mistura foi determinada através do ensaio “flow table” de forma a obter-se uma medida entre 222 mm e 224 mm.

Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de dimensões 5x10 cm. Logo após, os mesmos foram deixados ao ar por um período de 24h, quando então foram retirados dos moldes. Em seguida, um terço da amostragem dos corpos-de-prova foi imersa em baldes contendo água potável, um terço colocada em baldes com água contendo cal (concentração 4%) e o restante (também um terço) foi deixada em câmara com umidade de 100%.

2.2. Ensaio de resistência à compressão

Os corpos-de-prova permaneceram nos respectivos ambientes de cura até a véspera das datas de rompimento (7, 14, 28 e 90 dias), quando eram transferidos para estufa em temperatura de 60°C e permaneciam por mais vinte e quatro horas. Em seguida eram submetidos ao ensaio de compressão simples, de acordo com a NBR 7125 – Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.

2.3. Ensaio de ATD e DRX

Imediatamente, após o rompimento eram recolhidas amostras para a realização dos ensaios de ATD e DRX. As mesmas eram trituradas até que fosse obtida uma dimensão passante na peneira 100#(150µm).

As análises térmicas diferenciais foram efetuadas sob as seguintes condições de ensaio: velocidade constante de 10°C/min, ambiente atmosfera natural, padrão inerte caulim calcinado, porta amostra de alumina, massa ensaiada de 600mg (partículas < 150µm), termopares tipo K, e registro automático dos dados durante o ensaio em dataloger. O ensaio foi realizado no equipamento de análise térmica diferencial, dotado de forno da Carbolite, e fabricado pelo INSA_Lyon. Já, as análises de difração de raios x foram realizadas em equipamento da marca Rigaku, modelo Mini Flex, com monocromatizador de grafite e radiação Cu K..

3. RESULTADOS

As figuras a seguir apresentam de forma gráfica os resultados encontrados nos ensaios de resistência à compressão, análises térmicas diferenciais e difração ao raio x.

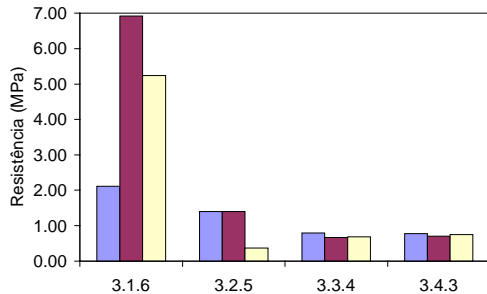


Figura 1: Resistência aos 7 dias

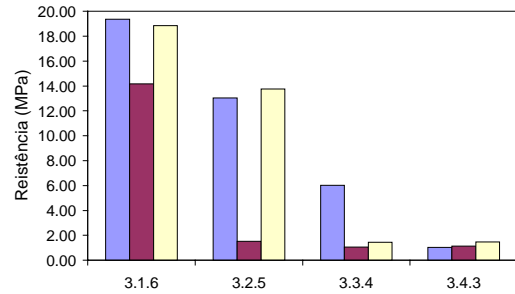


Figura 2: Resistência aos 14 dias

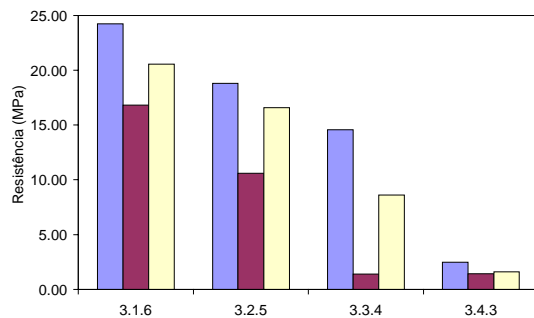


Figura 3: Resistência aos 28 dias

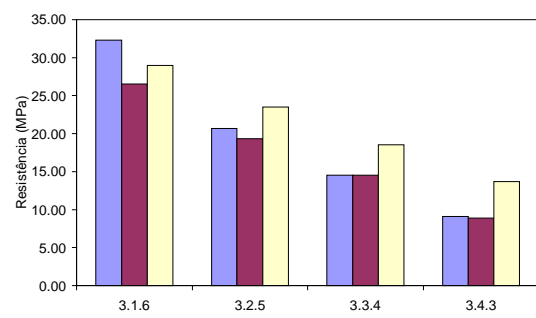


Figura 4: Resistência aos 90 dias

- Cura saturada em água potável
- Cura em câmara úmida
- Cura saturada em água com cal

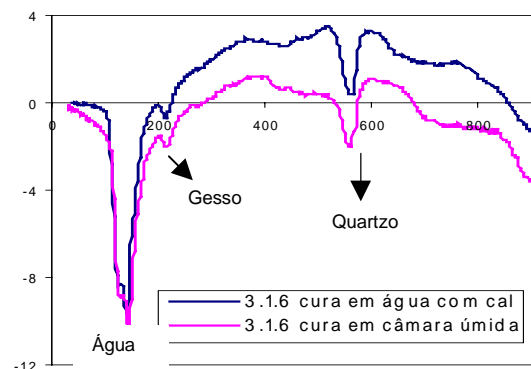


Figura 5: ATD da mistura 3.1.6 (28 dias)

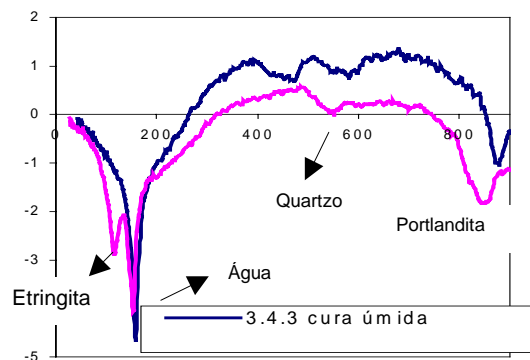


Figura 6: ATD da mistura 3.4.3 (28 dias)

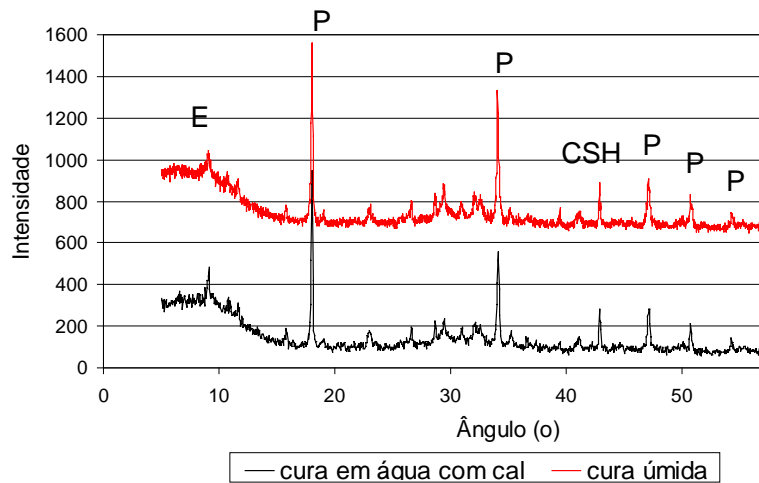


Figura 7: DRX da mistura 3.1.6 (28 dias)

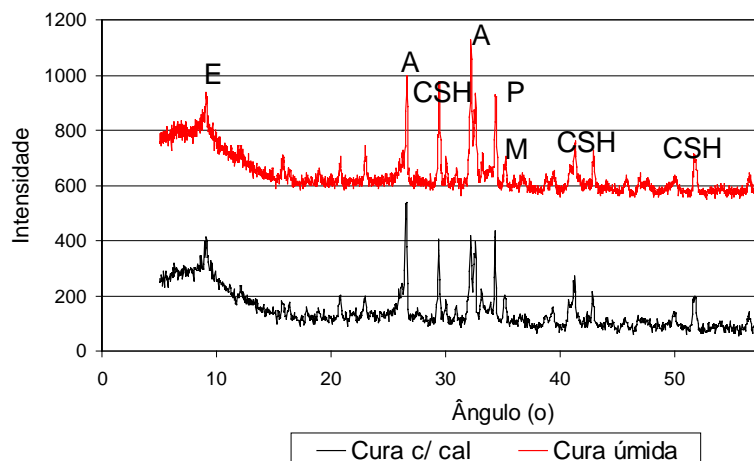


Figura 8 : DRX da mistura 3.4.3 (28 dias)

A= Alita, , CSH= Silicato de cálcio hidratado, E= Etringita, M= Mulita P= Portlandita

4. DISCUSSÃO

A análise dos resultados de resistência mecânica, expostos pelas figuras 1, 2, 3 e 4, evidencia seu aumento proporcional à idade do corpo de prova. Porém, a medida que se implementa uma maior quantidade de cinza pesada (conseqüentemente, diminui-se a quantidade de cimento utilizada), a mesma reduz seus valores consideravelmente.

Nos casos em que foram curadas em câmara úmida, percebeu-se que as resistências tiveram valores extremamente maiores aos 90 dias, sendo esta diferença bem mais significativa para os corpos de prova que apresentaram menores resistências (constituídos por menores quantidades de cimento). As misturas constituídas por 30 e 40% de cinza tiveram praticamente os mesmos valores de resistência até aos 28 dias de idade. Porém, aos 90 dias, o corpo de prova com 30% cinza alcançou quase o dobro da resistência do que possuía 40% de cinza em sua composição (8,88 e 14,53MPa, respectivamente). Com exceção da mistura constituída por 30% de cinza, os maiores saltos de

resistência aconteceram dos 28 para os 90 dias. Nesta idade (90 dias), constatou-se que o incremento de 10% de subproduto na mistura reduz em torno de 6MPa o valor de sua resistência. Esta é a única idade em que se verificou um comportamento mecânico linear com o incremento de subproduto.

Quando empregou-se a cura saturada em água, as resistências maiores também foram verificadas aos 90 dias, mas neste caso, o desempenho mecânico não apresentou valores muito diferentes da idade anterior (28 dias). As compostas por 20 e 30% de cinza praticamente não variaram seus valores. Já a mistura constituída por 40%, aumentou quase quatro vezes a sua resistência, passando de 2,47 para 9, 10MPa. Com exceção desta mistura, os maiores saltos se deram dos 7 para os 14 dias.

A cura saturada em cal, para as misturas mais pobres em cimento (com menor resistência), mostrou aumento significativo dos 28 dias para os 90 dias de idade. Já, as misturas com melhores resistências (10 e 20% de cinza), apresentaram maiores saltos nas idades iniciais (7 para 14 dias). O traço composto por 40% de cinza manteve um desempenho pequeno até os 28 dias de idade, alcançando uma boa resistência apenas aos 90 dias. A mistura constituída por 30% de cinza também aumentou consideravelmente seu valor, mas apresentou um bom resultado aos 28 dias. Para esta cura, também aos 90 dias de idade, constatou-se um comportamento linear no incremento de 10% de subproduto, porém, neste caso, a resistência da mistura reduz em torno de 5MPa.

Comparando-se os três tipos de cura, percebe-se que, aos 90 dias, quando se tem maiores resistências, a cura saturada e a úmida apresentam praticamente os mesmos valores, sendo que a cura saturada com cal é a que propicia os melhores desempenhos mecânicos, com exceção do traço que apresenta menor quantidade de cinza (e maior resistência), onde a cura saturada mostrou-se mais eficiente. Já, aos 28 dias, a cura úmida foi a que mostrou os resultados menores, para todos os traços, e a cura saturada, os melhores. Nos 14 dias de idade, excetuando-se o traço de menor resistência (40% de cinza), a cura úmida também resultou em valores mais baixos. Misturas com quantidades de cinza maiores que 10% tiveram sua resistência fortemente prejudicada, pois caiu de 14MPa para menos que 2MPa, sendo a saturada a cura que se mostrou mais eficiente neste caso.

Finalmente, para a menor idade (7 dias) percebeu-se que os três tipos de cura apresentaram valores bem próximos para os corpos de prova de menores resistências (os que possuem 30 e 40% de cinza). Para os mais resistentes (menor quantidade de cinza), a cura úmida mostrou-se mais eficiente.

A avaliação dos três tipos de cura demonstraram valores, em alguns casos, bem diferentes entre si, para um mesmo traço e uma mesma idade. Esta diferença foi menor para os corpos de prova analisados na maior idade já que neste tempo, pode-se dizer que o seu desempenho mecânico já estabilizou

Com relação à investigação da formação dos compostos, nota-se que, em ambos os casos, a cura saturada em água com cal e a úmida propiciaram a formação dos mesmos compostos. Na figura 6, que mostra a ATD do traço 3.1.6, percebe-se que o traçado das duas curvas existentes no gráfico é idêntico; o que também é verificado na figura 7, que expõe o resultado da ATD do traço 3.4.3. Entretanto, nesta última, quando tem-se cura em água com cal,

surge um pico antecedente ao referente à desidratação da amostra identificado como etringita, a qual também foi encontrada nas análises de DRX.

As análises de DRX demonstraram também que o emprego da cura úmida e cura saturada em água com cal propiciaram formação dos mesmos compostos, inclusive do composto etringita, o que é verificado por meio das figura 7 e 8.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios de resistência mecânica das misturas solidificadas mostraram que, de forma geral, as curas imersas, tanto em água potável quanto em água com cal, são preferíveis quando comparadas com a cura em câmara úmida visto que nas idades intermediárias este tipo de cura proporcionou resistências inferiores às demais. Apenas na menor idade (7 dias) as resistências são maiores e, somente aos 90 dias, os valores com ela obtidos se aproximam das resistências alcançadas com o emprego das demais.

Quanto à formação de compostos presentes das matrizes solidificadas, as análises de difração de raios x e análise térmica diferencial mostraram que a cura em câmara úmida, apesar de proporcionar menores resistências, implicou na formação dos mesmos compostos. Por isto, é importante a avaliação quantitativa destes compostos, principalmente porque em ambos os casos observou-se a presença da etringita que é um composto expansivo, podendo causar danos à matriz.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão - NBR 7215, Rio de Janeiro, 1991;

CHANG, Juu-En, LIN, Tzong-Tzeng, KO, Ming-Sheng, LIAW, Der-Shyn. Stabilization/Solidification of sludges containing heavy metals by using cement and wastes pozzolans. *Jornaul of Environmental Science and Health*. 1999. Elsevier Science B. V., pág. 1143 – 1160;

CHERIAF, M., ROCHA, J.C. Reaproveitamento de Cinzas Pesadas de Centrais Termoelétrica como novos materiais de construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1º, 1997, Canela - RS, Anais do 1 Encontro Nacional Sobre Edificações E Comunidades Sustentáveis;

LIN, C. F., HUANG, H. W. Leaching characteristics of solidification system of C3A/CuO. *Journal of Environmental Engineering Science*. Apr. 1996. ASCE, pág. 323 – 326;

LUZ, C. A. Valorização do Lodo da Indústria Têxtil como Novo Material de Construção Civil. In II Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental (1: 1998: Porto Alegre) Anais. Porto Alegre, 1998, pág. 466-471.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

O ENTULHO GERADO NA APLICAÇÃO DE GESSO

LIBRAIS, Carlus Fabricio (1); **SOUZA**, Ubiraci Espinelli Lemes (2); **SILVA**, Luciano Luis Ribeiro (3); **MAEDA**, Fanny Mayumi (4)

- (1) Eng^o Civil; Mestrando no Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 02, São Paulo SP Brasil 05505-900. e-mail: carlus.librais@pcc.usp.br
- (2) Eng^o Civil; Prof. Dr. do Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 02, São Paulo SP Brasil 05505-900. e-mail: ubisouza@pcc.usp.br
- (3) Eng^o Civil; Mestrando no Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 02, São Paulo SP Brasil 05505-900. e-mail: lribeiro@pcc.usp.br
- (4) Tecnóloga em Construção Civil; Mestranda no Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Av. Prof. Almeida Prado, Trav. 02, São Paulo SP Brasil 05505-900. e-mail: fmaeda@pcc.usp.br

Palavras-chave: entulho, revestimento, gesso

RESUMO

Este artigo se baseia em um trabalho de pesquisa, atualmente em desenvolvimento pelo Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, onde se tem, através de uma metodologia rápida, quantificado as perdas de materiais em serviços relativos à construção de edifícios. No caso específico dos revestimentos com gesso, estudou-se 4 obras de construção, onde o mesmo foi aplicado com diferentes técnicas (manual ou projetada) e com diferentes espessuras.

Sabendo-se que as perdas podem acontecer sob a forma de entulho ou de material incorporado, mediu-se, para as obras em avaliação, o consumo total de material e as frações incorporada e as que se tornaram resíduo. Estes resultados, por si só, já compõem um banco de dados que pode ser útil para os pesquisadores da área.

Na busca de um melhor entendimento dos fatores que induzem a maior ou menor geração de entulho, submeteu-se os dados disponíveis a um tratamento

estatístico, chegando-se a um modelo matemático que permite estimar-se a quantidade de entulho a ser gerada em função da técnica de aplicação do revestimento de gesso e da espessura final do mesmo.

Tal estimativa pode ser útil para balizar orçamentos e programação de obras, para a escolha de tecnologias e para subsidiar decisões quanto à gestão do entulho.

1. INTRODUÇÃO

Frente à atual fase de estabilidade econômica brasileira, constata-se uma diminuição da margem de lucro das empresas construtoras fazendo com que todo tipo de racionalização de processos construtivos proporcione maior competitividade para as empresas do setor. Desta forma, o combate à geração de entulho, além de propiciar uma economia de recursos que seriam enviados para o lixo, diminui, também, a agressão ao meio ambiente, pois o entulho de construção ainda não apresenta um processo de reciclagem muito difundido, ocasionando, assim, a disposição deste entulho diretamente na natureza, o que ocorre, muitas vezes, de maneira irregular.

Ao citar uma pesquisa internacional realizada por INDUSTRY AND ENVIRONMENT (1996), JOHN (1999) afirma que, em qualquer sociedade, o setor da construção civil é responsável pela extração de uma grande parcela de recursos naturais, estimado entre 15% e 50% dos recursos extraídos. Portanto, a redução do entulho gerado em obra, que implica em menor utilização de recursos, contribui para o uso racional dos recursos provenientes da natureza.

Pesquisas recentes sobre as perdas de materiais vigentes na indústria da construção civil, apresentam elevados valores de perdas físicas de materiais, o que ressalta a necessidade de maior atenção com a utilização dos mesmos. Tal valor, segundo SOUZA (1999)¹, é da ordem de 27% em massa, dado este obtido ao avaliar um conjunto de aproximadamente 100 obras estudadas.

Neste trabalho, após apresentar-se a conceituação de perdas e entulho serão expostas características relevantes do serviço revestimento com gesso. Na seqüência, mostra-se um estudo de campo, onde foram pesquisados 4 canteiros de obras a fim de se obter informações que subsidiassem a melhor compreensão das quantidades e dos fatores que influenciam a geração de entulho neste serviço.

Ressalta-se que, ao desenvolver um modelo de previsão do entulho gerado, objetivo desse artigo, tem-se uma ferramenta que deverá ser utilizada tanto no processo de orçamentação quanto de programação de obras, bem como na definição/escolha de tecnologias referentes à execução do serviço de revestimento com gesso.

¹ Apresentação durante SIMPÓSIO NACIONAL – Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras: A Quebra do Mito

2. O ENTULHO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O termo entulho é definido por LEVY (1997), como sendo todos os materiais minerais desperdiçados no processo de produção de novas edificações, reformas e demolições.

Entretanto, por considerar tal significado muito amplo, ANGULO (2000) classifica o entulho proveniente de construções como Resíduo de Construção e Demolição (RCD). Desta forma, define o RCD como sendo “todo e qualquer resíduo oriundo das atividades de construção, seja ele de novas construções, reformas, demolições, que envolvam atividades de obras de arte, solos ou resíduos de vegetação presentes em limpeza de terreno. Inclui-se aqui a vegetação, pois a contaminação é inerente ao resíduo”.

A geração de entulho durante a construção pode ocorrer, segundo PALIARI (1999), nas fases de recebimento, estocagem, processamento intermediário, aplicação ou transporte dos materiais. Além do entulho gerado, as perdas físicas existentes no canteiro se classificam, segundo sua natureza, em material incorporado e devido a roubo (ANDRADE, 1999).

BRITO FILHO (1999) comenta que cerca de 90.000 metros cúbicos de entulho de construção civil são gerados por mês na cidade de São Paulo. Não constando neste valor o entulho que não passa no sistema de gerenciamento municipal depositado em despejos clandestinos em terrenos baldios, bota-foras irregulares, áreas ermas e fundos de vale.

Desta forma, ter-se uma previsão do entulho gerado torna-se fundamental para o melhor planejamento e execução do serviço e os cuidados adicionais que serão necessários para minimização e remoção do mesmo.

3. REVESTIMENTO COM GESSO

Quanto ao outro objeto de estudo deste trabalho, o revestimento com gesso, MAEDA (2000) comenta que o rápido endurecimento da pasta de gesso, possibilitando a agilidade na execução do revestimento, a boa capacidade de aderência ao substrato ou base do revestimento; a plasticidade da pasta; a lisura da superfície endurecida e sua estabilidade volumétrica, a ausência de retração na secagem minimizando os riscos de fissuração nas primeiras idades; e o excelente acabamento superficial que dispensa outros acabamentos, são algumas das características que tornam o revestimento com gesso atraente para a construção civil.

Embora apresente todas essas vantagens, acredita-se que, do ponto de vista ambiental, a geração de entulho deste material é uma desvantagem muito grande conforme apresentado na Figura 3.1, onde o entulho gerado para o revestimento de um apartamento ocupa todo um ambiente do mesmo num monte cuja altura central ultrapassa um metro.



Figura 3.5 - Entulho de gesso gerado em um apartamento

Fonte: ANDRADE, 1999 (Arquivo de fotos)

Com o intuito de minimizar o entulho gerado neste serviço, apresenta-se, na seqüência, uma metodologia para estimativa do entulho gerado na execução do revestimento de paredes com gesso, o que possibilitará uma melhor gestão de tal parcela.

Neste estudo, o revestimento com gesso é classificado da seguinte forma: pela *técnica de aplicação* e pela *espessura final do revestimento*. Quanto à técnica de aplicação, pode-se aplicar o revestimento com a técnica *manual* ou *projetada mecanicamente*.

4. METODOLOGIA DO TRABALHO

Na medida em que se pretende detectar a influência de diferentes fatores na geração de entulho, este trabalho se baseia numa ampla pesquisa de campo, onde se avaliou a quantidade de gesso, que durante a execução, se transformou em entulho, buscando-se uma correlação entre tal quantidade e os fatores potencialmente influenciadores. Os fatores estudados foram, a técnica de aplicação (manual ou projetada) e a espessura do revestimento executado.

Para estimativa do entulho gerado pelo serviço, faz-se uma limpeza prévia do ambiente onde o mesmo será coletado, a fim de que não haja incidência de materiais provenientes de outros serviços (SOUZA, 2000).

Na seqüência, tendo-se avaliado a quantidade de material disponível (M_{gd}), dá-se início à execução do revestimento, observando qual a técnica de aplicação que será adotada para se executar o revestimento.

Ao final da aplicação do revestimento, recolhe-se todo o entulho de gesso gerado no ambiente, para que seja pesado, para se verificar a massa de entulho úmido ($M_{entulho\ úmido}$). Anota-se, também, a quantidade de material não utilizado, ou seja, a massa de gesso restante (M_{gr}) e a área líquida revestida ($A_{revestida}$). Na Figura 3.2 apresenta-se as etapas descritas anteriormente.

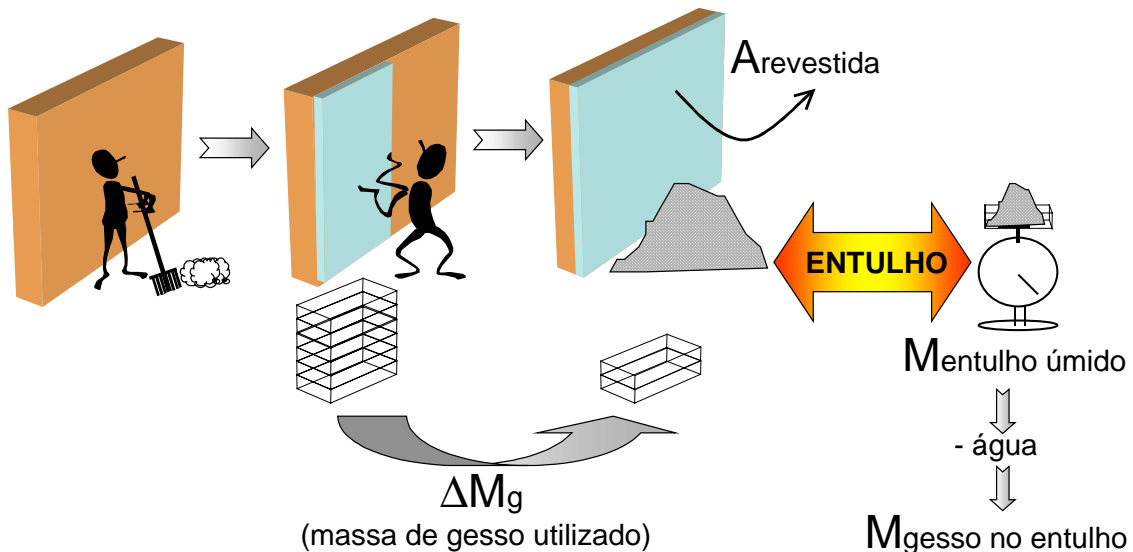


Figura 3.6- Entulho de gesso gerado em um apartamento

Pela diferença entre a M_{gd} e a M_{gr} , obtém-se a massa de gesso utilizada na aplicação do revestimento (ΔM_g). Calcula-se, também, a quantidade de gesso ($M_{\text{gesso no entulho}}$) que se transformou em entulho, extraído-se de $M_{\text{entulho úmido}}$ a água incorporada (adotada neste trabalho como sendo 20%). Com estas informações, determina-se a massa de gesso incorporada ($M_{\text{incorporada}}$) no revestimento, subtraindo-se de ΔM_g o valor correspondente a $M_{\text{gesso no entulho}}$ conforme a Eq. 4.1.

$$\Delta M_g - M_{\text{gesso no entulho}} = M_{\text{incorporada}} \quad [\text{Eq. 4.1}]$$

Partindo-se da $M_{\text{incorporada}}$, pode-se calcular a espessura média do revestimento aplicado através do conhecimento da densidade da pasta ou argamassa de gesso aplicada.

Por exemplo, se a $M_{\text{incorporada}}$ de gesso obtida foi de 1500 Kg, aplicado sobre 200 m² de revestimento e considerando a densidade da pasta como sendo 889 Kg/m³, a espessura média do revestimento será obtida efetuando-se dois cálculos: primeiro, dividindo-se 1500Kg por 889Kg/m³, obtendo-se o volume de 1,687m³ de gesso e segundo, dividindo-se 1,687m³ por 200m², obtendo-se 0,008m³/m², que representa uma espessura média de 8mm.

5. ESTUDO DE CAMPO, RESULTADOS E ANÁLISE

Durante o estudo de campo, levantou-se informações que subsidiaram a análise dos resultados, as quais são apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Informações sobre entulho

Obra	Técnica de aplicação	Espessura Média (cm)	Entulho gerado por área revestida (Kg/m ²)
SP03-P	Projetado	1,11	1,17
SP43	Projetado	1,00	1,17
SP66-P	Projetado	1,30	1,30
SP03-M	Manual	1,72	1,72
SP21	Manual	1,99	1,99
SP66-M	Manual	3,11	3,11

Com o auxílio de ferramentas estatísticas (Análise de Variância e Regressão Linear) processou-se as informações apresentadas na Tabela 5.1, chegando-se, assim, a uma expressão que estima a quantidade de entulho gerado (em Kg/m²) em função dos fatores que influenciam a geração do mesmo, no caso de revestimento de parede com gesso para obras (Eq. 5.1). Cabe ressaltar que, embora apenas os dois fatores aqui apresentados tenham se mostrado relevantes para a geração do entulho, não se descarta a possibilidade de influência de outros fatores, não detectados nesse estudo.

$$EntPar = 0,340 + 1,29Manual + 0,638Esp \quad [Eq. 5.1]$$

onde:

EntPar = quantidade de entulho gerado por unidade de área de parede revestida (kg/m²);

Manual = Técnica de aplicação (Manual=1; Projetado=0);

Esp = Espessura do revestimento (cm).

Desta forma, através da Equação 5.1, obtém-se uma estimativa do entulho, em função das características da obra, subsidiando futuras intervenções relativas à gestão do entulho.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de revestimento de parede com gesso aqui apresentado, provém de um banco de dados ainda pequeno, porém, de grande valia por se tratar de um tema de grande importância com relação à gestão de materiais no setor.

Destaca-se, também, a forte importância com relação à previsão do entulho e à detecção dos fatores relevantes na análise das questões relacionadas ao tema.

Pode-se notar que o combate à geração do entulho, para o serviço de revestimento com gesso nos canteiros de obras de edifícios, está diretamente relacionado à gestão da execução, ou seja, uma adequada gestão da execução do serviço de revestimento de parede com gesso traz consigo uma adequada gestão do entulho, que por sua vez leva a uma utilização racionalizada dos materiais em obra.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, A. C. **Método para quantificação das perdas de materiais em obras de construção de edifícios: superestrutura e alvenaria.** São Paulo, 1999. 235p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- ANGULO, S.C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados.** São Paulo, 2000. 155p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- BRITO FILHO, J.A. Cidades versus entulho. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais.** São Paulo, IBRACON, 1999. p.56-67.
- JOHN, V.M. Panorama sobre reciclagem de resíduos na construção civil. In: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. **Anais.** São Paulo, IBRACON, 1999. P.44-55.
- LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho da construção civil para utilização com agregados para argamassas e concretos.** São Paulo, 1997. 147p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MAEDA, F.M. **Produtividade quanto ao uso da mão-de-obra e dos materiais no serviço de revestimento de paredes internas e forros com argamassa de cimento e cal e com pastas de gesso.** São Paulo, 2000. 145p. Exame de qualificação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PALIARI, J. C. **Metodologia para a coleta e análise de informações sobre consumo e perdas de materiais e componentes nos canteiros de obras de edifícios.** São Paulo, 1999. 473p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- SOUZA, U.E.L *et al.* Desperdício de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. In: SIMPÓSIO NACIONAL – DESPERDÍCIO DE MATERIAIS NOS CANTEIROS DE OBRAS: a quebra do mito. São Paulo, 1999. **Anais.** São Paulo (PCC/EPUSP), 1999.
- SOUZA, U.E.L *et al.* **Projeto de apoio ao programa de redução do desperdício na construção civil em Santo André.** São Paulo, EPUSP, 2000. 120p.

AGRADECIMENTOS

Cabe agradecer o apoio recebidos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP e do CNPq, que têm em muito auxiliado nos trabalhos deste grupo de pesquisa.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**POLIESTIRENO EXPANSO RECICLADO: MATERIAL
ALTERNATIVO PARA CONSTRUÇÃO CIVIL E NAVAL**

OLIVEIRA, Fabiana Gonçalves (1); **GUIMARÃES**, André T. C. (2)

- (1) Engenheira Civil, Mestranda em Engenharia Oceânica, Fundação Universidade do Rio Grande - FURG, Av. Presidente Vargas, 315, bl02, ap 104 – 96202-100 – Rio Grande-RS. e-mail fgob@globob.com.
- (2) Professor Adjunto, Departamento de Materiais e Construção, Fundação Universidade do Rio Grande - FURG, Rua Mr. Floriano, 281 – 96205-190 – Rio Grande-RS. e-mail atcg@mikrus.com.br.

Palavras-chave: poliestireno expando, concreto leve, reciclagem

RESUMO

Na cidade do Rio Grande são depositadas no lixo, um grande volume de poliestireno expando, sob a forma de embalagens. Como este material não é reciclado nesta cidade, a Associação dos Catadores de Lixo solicitou a FURG que desenvolvesse pesquisa para o reaproveitamento deste material.

Uma das possibilidades de uso deste material reciclado pode ser a utilização deste como componente do concreto leve destinado a fabricação de diversos elementos na construção civil, como brises, enchimentos de lajes nervuradas, blocos para paredes, além da utilização na construção naval, como elemento leve de enchimento, caixões para formação de lastros entre outros.

A primeira parte da pesquisa foi desenvolver um método para soltar as pérolas de poliestireno expando que formam as embalagens a serem recicladas, formando assim um agregado leve. Primeiramente foi desenvolvido um método manual, sendo após desenvolvido equipamento mecânico para aumentar a produção e viabilizar financeiramente o projeto. Na segunda parte da pesquisa foram desenvolvidos traços de concreto leve para diversas finalidades.

Obteve-se um excelente resultado comparando as resistências do concreto leve utilizando poliestireno expando reciclado com os que utilizam poliestireno expando encontrado no mercado, sendo que o preço de venda do produto reciclado é 70% mais baixo que o produto tradicionalmente vendido.

1. INTRODUÇÃO

O grande volume de poliestireno expando arrecadado pela ASCA/RS – Associação dos Catadores de Lixo de Rio Grande – e o fato deste material não ser reciclado na cidade de Rio Grande, levou os responsáveis pelo Projeto Adeus aos Lixões a procurar a FURG – Fundação Universidade do Rio Grande – para solicitar que fosse realizada uma pesquisa tendo por objetivo o imediato emprego deste material.

Sendo assim, com a finalidade de atender a comunidade carente do município de Rio Grande e o avanço tecnológico almejado pelo setor universitário passou-se a desenvolver estudos com o objetivo de encontrar uma solução eficiente para este problema. Uma das soluções encontradas foi utilizar o poliestireno expando reciclado como componente de concreto leve.

Com base em alguns trabalhos sobre concreto leve foi elaborado um cronograma de pesquisa a ser desenvolvido para a fabricação de concreto leve com poliestireno expando reciclado. O trabalho foi dividido em fases para que estas abrangessem desde o modo de fabricação deste material, passando pelo processo de reciclagem até chegar ao objetivo proposto que é atingir uma aplicação para o produto com traços de concreto leve utilizando o poliestireno expando reciclado.

2. METODOLOGIA

A primeira fase do projeto consistiu em estudar o método de fabricação das embalagens e placas de poliestireno expando com o intuito de transforma-las em pérolas ou pequenos pedaços de modo que pudessem ser utilizadas como componentes na fabricação de concreto leve.

Descobriu-se que as placas e embalagens de poliestireno expando são, na maioria das vezes, moldadas por aquecimento da seguinte forma: coloca-se as pérolas de poliestireno pré-expansas em formas e injeta-se vapor de modo que estas se expandam tomando a forma do molde. Sendo este o processo mais comum de fabricação e, não havendo meio de reverter este processo, passou-se então a segunda fase da pesquisa que consiste em estudar meios para desmanchar as embalagens de poliestireno em pedaços. A primeira tentativa foi friccionar estes pedaços em uma peneira utilizada para fazer a granulometria de areia. Testou-se diversas malhas para obter uma que desmanchasse as placas em pérolas o mais perfeitamente possível.

Após a realização desta etapa pode-se concluir que existem quatro tipos diferentes de poliestireno expando utilizados na fabricação de embalagens, as quais descrevemos a seguir: pérolas pequenas e fáceis de desmanchar; pérolas pequenas e aderentes, que não desmancham facilmente ficando em pedaços; e pérolas grandes e fáceis de desmanchar.

Para facilitar o trabalho de pesquisa, convencionou-se adotar uma classificação para o material utilizado. Ficando classificado, respectivamente como P.E.R. tipo “A”, P.E.R. tipo “B” e P.E.R. tipo “C”.

Com o fim das primeiras fases do projeto, foi possível perceber que o material reciclado podia ser utilizado da mesma maneira que as pérolas vendidas no mercado, porém, o tempo para a produção destas, reciclagem, transformar as

embalagens em pérolas, era grande, o que tornava o custo e a produção do material inviável.

Com o objetivo de agilizar o processo de reciclagem do material passou-se a estudar uma máquina que o fizesse com maior qualidade, rapidez e menor mão de obra, tornando assim o processo de reciclagem viável, tanto economicamente como humanamente.

2.1. Máquina

Algumas idéias foram testadas, com o auxílio da oficina mecânica do departamento de materiais e construção, chegando-se a um tipo de máquina de “ralar” (separar em pérolas). Esta máquina consiste em uma tela que tem por objetivo desmanchar as placas de poliestireno expando em pérolas, uma manivela que fazia com que esta tela girasse, um acabamento, espécie de corpo que conduz as placas de poliestireno expando até a tela para que estas sejam friccionadas na tela e um bocal de saída para as pérolas recicladas onde possa ser colocado um receptor para o material que sai reciclado. Este foi o protótipo que melhor satisfaz as necessidades iniciais da pesquisa. No entanto, as placas quando atingiam uma determinada espessura, passavam entre a parede da máquina e a tela e caíam no receptor de material reciclado, produzindo material de baixa qualidade. Outro problema encontrado foi que o tipo de tela utilizado desmanchava as pérolas inadequadamente, por estes motivos, o produto possuía muitos resíduos e a qualidade era inferior a esperada. Também o tempo de reciclagem não era o adequado.

Com base nestes dados passou-se a estudar aperfeiçoamentos e ajustes para que a máquina tornasse satisfatória a produção. Entre os ajustes feitos encontra-se a adaptação de um motor ao invés de manivela para diminuir o tempo de produção; a troca do tipo de tela utilizado por uma tela tipo ottis, o que produz pérolas de melhor qualidade, e adaptação de uma peneira com sistema de vibração com o objetivo de separar o material reciclado do resíduo. Esta máquina fica mais bem demonstrada na Fig. 1 que segue este trabalho.

2.2. Testes de Laboratório

Tendo o material para a fabricação do concreto leve, foram realizados em laboratório testes para determinar a granulometria e a densidade aparente do poliestireno expando reciclado. Os resultados destes testes encontram-se na Tabela 1.

A partir dos resultados obtidos com estes ensaios passou-se a estudar traços de diferentes tipos de concreto leve, entre estes os traços de concreto leve com pérolas de poliestireno expando.

De acordo com este estudo, foram desenvolvidos alguns traços de concreto leve com o poliestireno expando reciclado, utilizando-se principalmente o P.E.R. tipo “A” e o P.E.R. tipo “C”.

Todos os traços utilizados tinham como materiais básicos, areia fina, cimento pozolâmico tipo CP IV 32, poliestireno expando reciclado, aglutinante comum (cola) e água potável. Para cada traço foram moldados alguns corpos de prova de 50mmx100mm e de 150mmx300mm. Após sete dias os corpos de prova foram desformados e foram para a câmara úmida onde permaneceram por vinte e um dias. Ao completar o tempo de cura (vinte oito dias) foi calculado o

peso específico (logo após retirados da câmara úmida) e em seguida rompidos, calculando-se assim a resistência à compressão simples para estes traços.

Máquina de separar “pérolas”

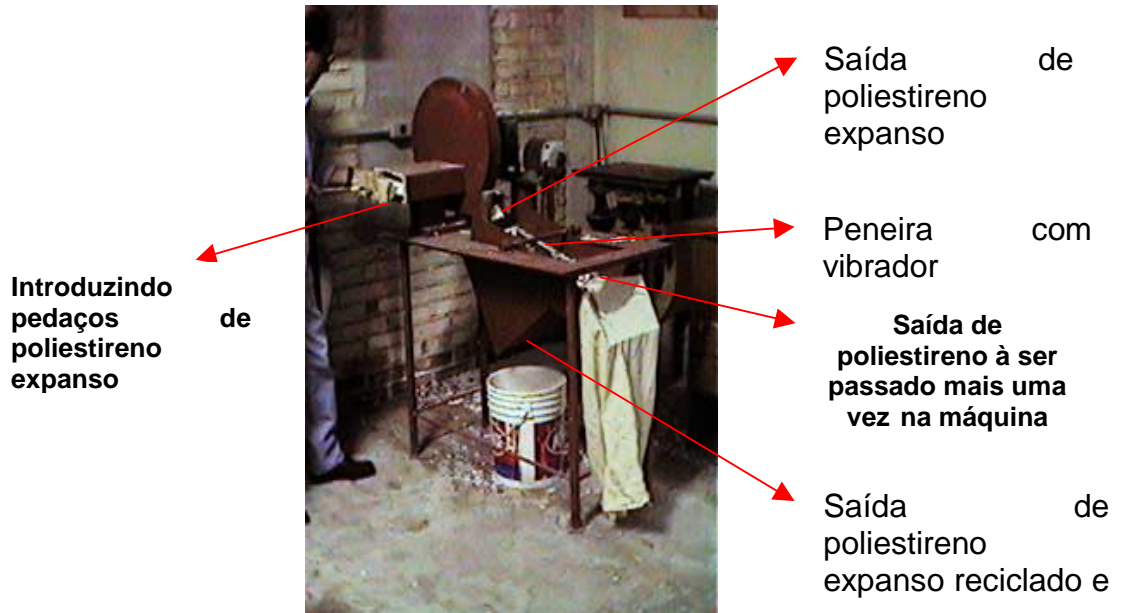


Figura 1 – Máquina para reciclar poliestireno expandido

3. RESULTADOS

Os resultados destes testes não foram os esperados, pois, a resistência a compressão deste tipo de concreto leve de 700 kg/m^3 , utilizando o material encontrado no mercado é entorno de 30 kg/cm^2 e a alcançada nos primeiros testes ficaram em torno de $14,05 \text{ kg/cm}^2$ para o traço utilizando o P.E.R. tipo “A” e $18,09 \text{ kg/cm}^2$ para o que utiliza o tipo “B”, em média. Outro problema encontrado foi as falhas (fissuras e bolhas) nos corpos de prova devido a flutuação do P.E.R.

Tabela 1 – Densidade Aparente do P.E.R.

Tipo do Poliestireno Expanso Reciclado	Densidade Aparente (g/cm ³)
tipo "A"	0,936
tipo "B"	0,1201
tipo "C"	0,806
Resíduo*	0,1094

* Pequenos pedaços de poliestireno expanso reciclados.

Tendo por objetivo melhorar a resistência à compressão do concreto leve, foram escolhidas duas densidades diferentes para continuar o desenvolvimento do trabalho. Para estas, foram estudados novos traços com variação da massa de P.E.R. e com granulometrias elaboradas com a intenção de homogeneizar o traço melhorando assim a resistência. Outra modificação feita foi à adoção de um aglutinante específico para o poliestireno expanso, a fim de resolver o problema de flutuação.

4. ANALISE DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos para esta nova bateria de testes foram plenamente satisfatórios, como é demonstrado a seguir nas Tabelas 2 e 3 para as densidades de 750 kg/m³ e 1000 kg/m³, respectivamente.

Tabela 2 – Resistência à Compressão para a Densidade de 750 kg/m³

Granulometria	Resistência à Compressão Média MPa	Traço
2	1,732	1
2	3,386	2
3	3,281	1
3	2,680	2

4.1. Granulometrias

A granulometria 1 consiste na maior concentração de pérolas de P.E.R. retidas na malha de 2,4mm, enquanto que nas outras malhas a quantidade de pérolas retida é bem menor.

A granulometria 2 apresenta o tamanho das pérolas bem distribuídos entre as malhas 6,3 mm, 4,8 mm, 4,4 mm, 1,2 mm e menor que 1,2 mm, porém, com maior quantidade de pérolas retidas nas malhas 2,4 mm e 4,8 mm, respectivamente.

A granulometria 3 também contém uma maior quantidade de pérolas retidas na malha 2,4 mm e logo em seguida na malha 1,2 mm, porém, a diferença entre as quantidades fica entorno de 4 vezes. As peneiras 4,8 mm e menor que 1,2mm apresentam quantidade muito menor.

Tabela 3 - Resistência à Compressão para a Densidade de 1000 kg/m³

Granulometria	Resistência à Compressão Média MPa	Traço
1	3,556	3
2	2,704	3
3	2,716	3

4.2. Traços

Os traços utilizados para confeccionar os corpos de prova de densidade de 750 kg/m³ foram:

Traço 1: 2,33 partes de P.E.R. para 1 parte de cimento pozolâmico CP 32, 0,30 de areia fina e 0,38 de água.

Traço 2: 2,33 partes de P.E.R. para 1 parte de cimento pozolâmico CP 32, 0,30 de areia fina, 0,40 de água e 0.004 de aglutinante.

E o traço 3, que foi o utilizado para executar os corpos de prova para a densidade de 100 kg/m³ é o seguinte: 2,18 partes de P.E.R. para 1 parte de cimento, 0,77 de areia e 0,54 de água.

O gráfico apresentado na Fig. 2 foi traçado com base no catálogo de orientações técnicas da Basf, que é uma empresa que trabalha com concreto leve utilizando pérolas de poliestireno expando.

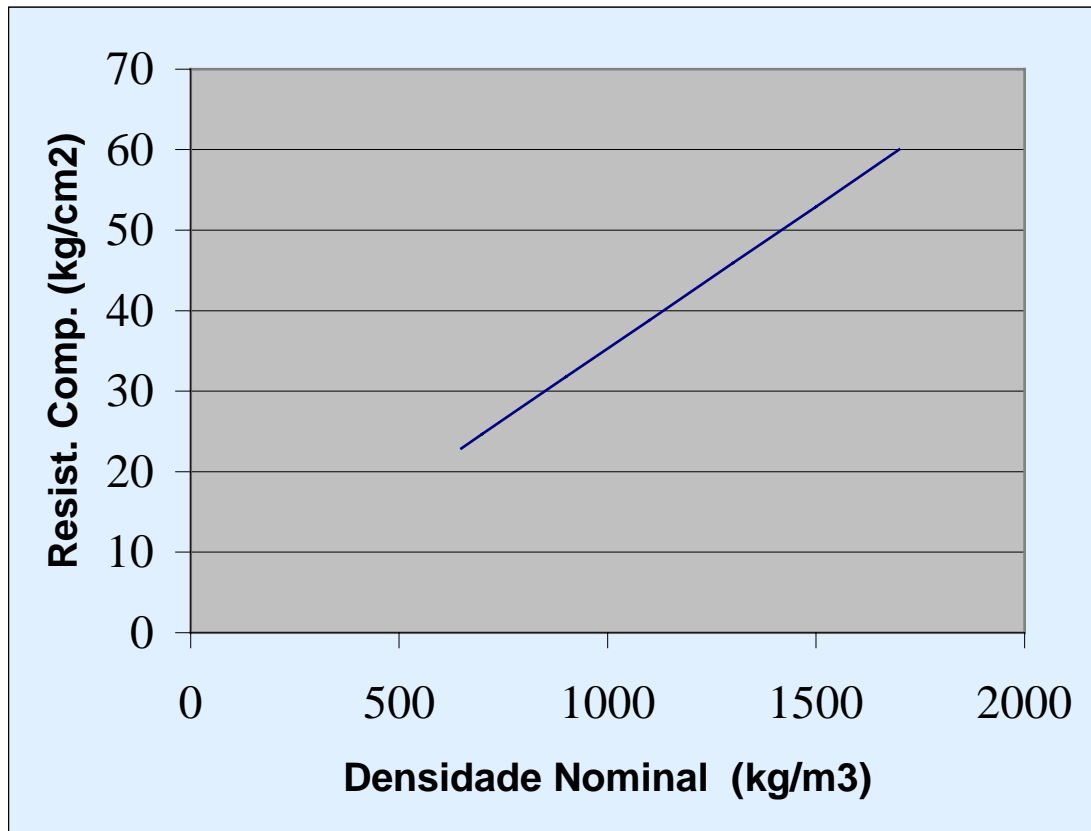


Figura 2 - Resistências à compressão para o concreto leve com poliestireno expandido (densidade das pérolas 12kg/m³)

Comparando os resultados para as resistências obtidos com este trabalho de pesquisa com os resultados obtidos, normalmente, pelo produto encontrado no mercado, constata-se que obteve-se uma resistência plenamente satisfatória para o traço escolhido para este trabalho.

Em termos de custo de produção, a pesquisa constatou que as pérolas de poliestireno expandido encontradas no mercado são 70% mais caras que as recicladas, levando-se em conta o custo de coleta, de reciclagem e embalagem. Com isso, o concreto leve com poliestireno expandido reciclado pode ser vendido por 30% do valor do que é normalmente comercializado, já que os demais componentes são os mesmos.

Outro fato constatado foi que o uso de aglutinante não influencia na resistência deste tipo de concreto leve.

5. CONCLUSÃO

A resistência encontrada nos corpos de provas de concreto leve com poliestireno expandido reciclado, utilizando-se diferentes granulometrias para estes traços foram praticamente iguais às obtidas com concreto leve com pérolas de poliestireno expandido encontrado no mercado. Esta constatação torna-se extremamente importante se levarmos em conta que o custo do poliestireno expandido reciclado corresponde a 30% do valor do produto encontrado no mercado. Este fato leva-nos a concluir que possuímos um

material de qualidade semelhante, senão igual, ao existente no mercado, porém, com o custo consideravelmente mais baixo, tornando a utilização do concreto leve com poliestireno expando reciclado plenamente viável.

Observa-se que esta pesquisa busca assegurar aos menos favorecidos e carentes, remuneração com a coleta e reciclagem do poliestireno expando, reduzindo consideravelmente o volume de lixo produzido por este material que é diariamente depositado em grandes quantidades nos lixões da cidade de Rio Grande e que atualmente não vem sendo reciclado, além de oferecer a construção civil um material de excelente qualidade e baixo custo.

Portanto esta pesquisa deve ter continuidade buscando traços para densidades maiores e estudando novas formas de utilização para este tipo de material.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MILES, D. C.; E BRISTON, J. H. (1975) Tecnologia dos Polímeros 2. Ed. São Paulo, 1975.

BASF (1994). Orientações Técnicas



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DE MATERIAIS DE FRICÇÃO

PACIONI JR., Gentil (1); **MARQUES**, Celso M. Santos (2); **MANDL**, Artur R. (3)

- (1) Engenheiro Mecânico. Gerente Comercial e de Meio Ambiente da Thermoid S/A – Materiais de Fricção – Salto - SP. E-mail: meioambiente.thermoid@freio.com e vendas@thermoid.com.br
- (2) Engenheiro Civil. Pós Graduado em Segurança do Trabalho. Engenheiro de Segurança do Trabalho pelas empresas: Thermoid S/A – Materiais de Fricção – Salto - SP e Singer do Brasil Ind. e Com. Ltda. – Campinas – SP. E-mail: celsomqs@terra.com.br e sesmt@thermoid.com.br
- (3) Engenheiro Mecânico. Gerente de Garantia da Qualidade e de Segurança do Trabalho da Thermoid S/A – Materiais de Fricção – Salto - SP. E-mail: qualidade.thermoid@freio.com

Palavras-chave: resíduos sólidos industriais, materiais de fricção, rejeitos, asbesto, reciclagem, reincorporar, meio-ambiente, fibras de amianto.

RESUMO

O trabalho a seguir destina-se às empresas fabricantes e empresas aplicadoras de Materiais de Fricção, na linha de pastilhas e lonas para freios (fig.1), no sentido de eliminar o descarte (fig.2) dos seus resíduos sólidos industriais (sendo um de seus componentes básicos o Asbesto), provenientes do processo produtivo, através da reciclagem, (racionalização, filtragem e classificação seletiva), controlando-se de forma balanceada



Figura 1 – Materiais de fricção

as propriedades físico-químico-mecânicas para reincorporar a matéria-prima ao produto. Dividido em duas etapas, sendo a primeira praticada internamente e a segunda externamente, as atividades são centradas num programa de "Reciclagem de Resíduos Sólidos e Manutenção Ambiental", pela reutilização destes rejeitos no próprio processo industrial. A empresa obterá, sem sombra de dúvida, uma substancial redução em seus custos

operacionais, além de contribuir significativamente com a preservação do meio ambiente.

Esta iniciativa é amplamente praticada pelos fabricantes de: alumínio, aço, papel / papelão, vidro, plástico, borracha, pneus, etc., recolhendo estes descartes e direcionando corretamente (destinação final). Em Meio Ambiente, significa prevermos e concebermos nossos produtos “do berço ao túmulo”, fechando o ciclo de sua existência. O sistema adotado é de extrema simplicidade e praticidade, podendo ser aplicado por empresas de produção similar, simplificando radicalmente a problemática no Gerenciamento de Resíduos Sólidos do processo produtivo, atendendo às exigências dos órgãos ambientais, e reeducando a população na manutenção do ambiente produtivo, na saúde no trabalho e do meio ambiente, conseqüentemente melhorando a qualidade de vida, projetando, enfim, sua marca e imagem junto ao mercado.



Figura 2 – Rejeitos (descarte) de lonas de freios

1. SITUAÇÕES COMUMENTE ENCONTRADAS

As empresas em geral precisam administrar sérios problemas quanto ao Gerenciamento de Resíduos Sólidos, gerados em seus processos produtivos,



Figura 3 – Rejeitos de lonas de fricção

junto à CETESB, com expressivos volumes de rejeitos ou resíduos (fig.3), cujo material é retido em barracões ou, em muitos casos, até mesmo no interior do pavilhão de suas fábricas. Em função disto, muitas vezes começam enfrentando dificuldades na concessão de suas Licenças de Funcionamento e de Instalação de suas atividades industriais. O resíduo, basicamente é formado por material denominado “Scrap” (refugo), cujo destino final

normalmente é o descarte. Em virtude de possuir Amianto, Barita, Negro de Fumo, etc. em sua composição, não pode simplesmente ser descartado em qualquer aterro sanitário, sendo necessário o uso de aterro industrial, incineração ou outros sistemas, cujos custos com manuseio, armazenamento, controle e transporte, além do próprio desperdício do material processado, são vultuosos.

2. DIFICULDADES EXISTENTES

É necessária uma programação completa, com previsão de todo o processo de descarte, para se evitar acúmulo excessivo na empresa, o que às vezes dificulta um pouco a logística no processo de manufatura. É necessária a obtenção da aprovação de CADRI, junto à CETESB, a caracterização, transporte e destinação final dos resíduos industriais. O armazenamento muitas vezes é complicado, por grande parte das empresas não destinar em sua planta de fábrica uma área específica nos padrões mínimos exigidos. A maior dificuldade neste projeto é a mudança de cultura dos nossos usuários ou manuseadores em geral, pois terão que dispor seus descartes de forma racional, ao contrário do que muitas vezes fazemos em nossas residências.

3. PROPOSTA DA 1ª ETAPA (TRABALHO INTERNO)

Reciclagem ou reaproveitamento do material a ser descartado pelo processo industrial, pela prévia qualificação física (fig. 4) e analiticamente dos componentes agregados, as dimensões das fibras de amianto e dos demais componentes agregados, moagem (fig. 5 e 6), filtragem e classificação seletiva, controlando-se a mistura de forma balanceada, afim de se assegurar as propriedades físicas, químicas e mecânicas, visando reincorporar a matéria-prima devidamente processada ao produto. A



Figura 4 – Separação de componentes mecânicos de lonas



Figura 5 – Moagem das lonas rejeitadas



programação da produção é um item importante, pois abrange o universo dos diversos produtos e suas variáveis, sejam elas de ordem dimensional, resistência térmica, coeficiente de atrito, resistência mecânica e outros parâmetros obrigatórios. Todas as especificações constantes nas normas técnicas internacionais, no produto final, devem ser rigorosamente obedecidas.

3.1. Pontos fortes da 1ª etapa

O sistema adotado simplifica radicalmente a logística no processo, pois evita o acúmulo de material em grandes áreas ou até mesmo no chão de fábrica, reduzindo inventário, eliminando a burocracia necessária para a aprovação do transporte e destinação final dos resíduos

industriais (CADRI), além dos custos relacionados ao transporte e destinação final (aterro industrial). Também otimiza a produção, no sentido de empregar no produto, um material já antes processado, e que possui perfeitas condições de uso, sendo total o aproveitamento, ou seja, descarte zero. Com isto, o material direto trabalhará em uma espécie de “circuito fechado”, em termos de fluxograma básico de processo.

3.2. Premissas básicas para início da 1ª etapa

Equipamento necessário: Moinho (verificar disponibilidade ou acrescentar), para processar o material com granulometria e demais características físico-químicas adequadas à mistura dos demais componentes (fig. 7).

Lay out ou local necessário para armazenamento. Identificação do tipo de Scrap, demarcação e aproveitamento de áreas existentes.

Acompanhamento e consulta à CETESB, no tocante à verificação do Impacto Ambiental das medidas adotadas.

Caracterização dos Resíduos Sólidos Existentes na época resultantes do processo industrial e parecer técnico com relação à iniciativa a ser adotada no projeto. Aprovação e concessão de Licença de Funcionamento com a adoção deste novo processo.

Padronização dos Procedimentos (métodos e processos) de manufatura, reformulação das misturas dos componentes (aglomerantes e agregados), por tipo de produto, desenvolvimento de protótipos, ensaios de laboratório (fig. 8), fabricação de lote piloto, acompanhamento e avaliação das dificuldades na linha de produção.

Testes Práticos de Engenharia de Campo, com avaliação do desempenho e comparação dos resultados com as normas técnicas internacionais vigentes. Aprovação técnica e Start-up.



Figura 8 – Equipamento “Fast” para ensaios físicos de laboratório



Figura 7 – Formulação e rebalanceamento dos componentes

Não é necessário realizar grande investimento específico, além da aquisição de moinho dedicado, quando necessário, e contratação de profissionais com a qualificação técnica necessária (know-how), para assegurar o balanceamento correto de massa empregada (fig. 7), o manuseio e uso controlado dos materiais envolvidos (principalmente o Asbesto) e a garantia de Qualidade Total no produto final.

4. PROPOSTA DA 2ª ETAPA

Após a 1ª etapa ser consolidada, pode-se partir para a 2ª fase do programa, que embora pareça semelhante à anterior, visa a Educação Ambiental da coletividade (clientes diretos e indiretos) ou consumidores, através de Coleta Seletiva (fig. 9) de materiais de fricção voltada aos distribuidores, lojistas e aos aplicadores de materiais de fricção (lonas, pastilhas de freios e dos revestimentos dos discos de embreagem).



Figura 9 – Tambores destinados à coleta específica de materiais de fricção

Nesta fase, a prática resumir-se-á em prévios contatos com toda a rede de distribuidores / lojistas, para apresentação deste projeto, oferecendo o serviço de nosso pessoal, buscando a aprovação e patrocínio para cobrir eventuais custos. Elaboração conjunta de completo mapeamento dos atuais clientes dos produtos. Montagem ou organização de grupos de aplicadores que receberão os tambores de coleta e,



Figura 10 – Retirada dos tambores e separação em "bags" para classificação

se necessário, treinamento ministrado por nossos profissionais, enfocando o uso controlado, formas de proteção e outros temas relacionados a prevenção de acidentes e doenças ocupacionais. A programação por região dos distribuidores / lojistas é um item importante, pois otimiza o eventual deslocamento desta equipe, reduzindo os custos de traslado e estadia. O material será coletado em tambores ou caçambas específicas e transportado para a empresa (fig. 10), que classificará e reprocessará os materiais conforme seu interesse.

4.1. Pontos fortes da 2ª etapa

O sistema adotado atinge radicalmente a ignorância sobre o manuseio de artefatos à base de fibras, sejam elas minerais ou sintéticas. Demonstra a preocupação, seriedade e investimento das empresas sobre a atuação de seus colaboradores diretos e indiretos. Também otimiza as vendas, no sentido de promover a venda alicerçada em maior confiabilidade, na qualidade do produto e na técnica correta e segura para a sua aplicação. Poderá auxiliar de forma indireta o trabalho da assistência técnica, uma vez que muitas das reclamações são resultantes de uma rebitagem ou montagem mal feita, causando enorme perda de tempo e conseqüentes reposições de lonas. Com isto, o marketing da empresa contará com uma poderosa e inédita ferramenta de trabalho, e que com certeza será reconhecida e terá cada vez mais a participação da concorrência.

4.2. Premissas básicas para a execução da 2ª etapa

Obtenção de aprovação pela direção da empresa

Obtenção de aprovação e apoio pela direção da ABRA.

Logística e formação dos grupos por região a ser visitada e feita a coleta.

Programação e adequação de área de classificação dos materiais envolvidos (lonas, chapa de aço, etc.) e estocagem.

Aquisição ou melhoramento do sistema existente para moagem e classificação / filtragem dos descartes.

Prévio estudo da destinação final dos itens que não serão reprocessados pela empresa

Caso se faça necessário, treinamento prático e avaliação de aprendizado aos colaboradores externos.

Montagem de currículo básico, programa e material de apoio dos assuntos a serem ministrados, nos casos deste treinamento.

Planilhamento dos custos previstos.

Aceitação e patrocínio por parte dos distribuidores / lojistas.

Calendário semestral ou anual de treinamentos agendados.

Preparação do pessoal que ministrará treinamento, montagem de escala para viagens.

Confirmação por parte dos distribuidores / lojistas, acerca da programação em si e dos recursos básicos (dia, hora, local, recursos audiovisuais, etc.).



Figura 11 – Treinamento e qualificação do pessoal técnico envolvido no programa

Análise do impacto ambiental pelos resultados obtidos antes e após o lançamento do projeto, junto aos órgãos públicos.

5. MELHORIAS ESPERADAS A MÉDIO E LONGO PRAZO

Eliminação e/ou redução de descarte de pastilhas, lonas usadas e revestimentos nos aterros diversos.

Combate ao desperdício.

Redução de Custos Ambientais e Operacionais.

Uso Controlado do Amianto e materiais alternativos.

Maior projeção das empresas fabricantes de materiais de fricção e de seus distribuidores / lojistas no mercado.

Eliminação e/ou redução de acidentes do trabalho, junto aos aplicadores de lonas para sistema de freios (sendo um de seus componentes básicos o Asbesto), além do risco de doenças ocupacionais provenientes do uso de

produtos a base de fibras (Amianto ou materiais alternativos), através da Educação Ambiental, Coleta Seletiva, Separação/Classificação e Reprocessamento, controlando-se de forma segura o seu uso, baseando-se no fato que o número destes trabalhadores expostos ao risco gerado por estes produtos é provavelmente superior aos dos fabricantes ou indústrias de transformação.

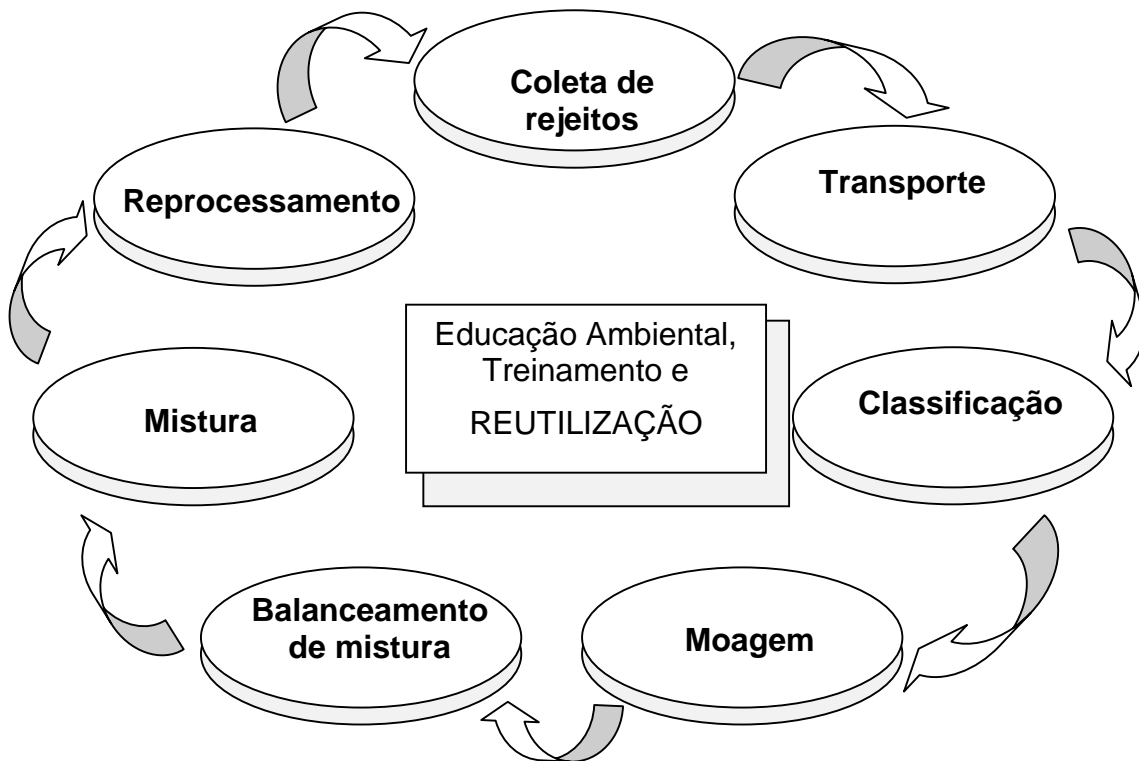
Investimento em mais equipamentos para controle ambiental, em função da economia gerada neste projeto.

Aumento nas vendas, pela conseqüente preferência dos clientes pelo produto fabricado por quem não agride o meio ambiente.

Conseqüente padronização e/ou normalização técnica deste procedimento à nível nacional e internacional.

6. FLUXOGRAMA OU CICLO RESUMIDO DO PROCESSO PROPOSTO

O objetivo final deste trabalho visa o ciclo abaixo, de forma contínua.



7. MELHORIAS ESPERADAS A CURTO PRAZO PELO DESEMPENHO AMBIENTAL

Aprendizado e execução deste projeto, por parte de outras empresas de atividade similar, demonstrando a seriedade, o profissionalismo e a preocupação com a Gestão Ambiental por parte dos Fabricantes de Materiais e/ou Elementos de Fricção.

Eliminação do volume de descarte de Resíduos Industriais

Eliminação dos riscos ocupacionais (absorção via respiratória) inerentes ao transporte dos resíduos industriais e manuseio destes produtos, pela existência de fibras de Amianto (ou fibras alternativas) na composição.

Redução da má utilização dos produtos de Amianto ou fibras alternativas.

Exemplo de Educação Ambiental, envolvendo a reciclagem e treinamento do Uso Controlado do Amianto, visando todo o quadro de profissionais do ramo.

Redução dos custos decorrentes pela perda de material e/ou matéria prima.

Redução de descarte irresponsável de produtos de Amianto ou fibras alternativas em aterros ou destinos finais duvidosos, cuja fiscalização nem sempre consegue detectar esta prática.

Aumento nas vendas, pela conseqüente preferência dos clientes pelo produto fabricado por quem se preocupa com Segurança e Qualidade Total de seus produtos.

Credibilidade no produto nacional, a nível de mercado Brasil e mercado exterior, pela afinidade do conceito básico com a Segurança, Saúde e Meio Ambiente. Todos, enfim, saem ganhando. O fabricante, o mercado, e o consumidor final, portanto, a humanidade.

O mercado, através dos clientes ou consumidores mais esclarecidos, já vem gradativamente buscando esta excelência.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUO VÍTREO (PÓ DE VIDRO TIPO
SODA-CAL) NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO: UM ESTUDO
EXPERIMENTAL**

ARRUDA, Maria de Fátima de Oliveira (1); **PAMPLONA**, Hilda de Castro (2);
PAMPLONA, Afrodízio Durval Gondim (3)

(1) Engenheira Civil, Orientada no Estudo, Universidade Federal do Ceará.
e-mail: fátima_arruda@hotmail.com

(2) Mestre em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa
Catarina. e-mail: hildar@zipmail.com.br

Rua Jornalista Nertan Macedo, 370 - 60190-730 - Fortaleza-CE.

(3) Professor Colaborador Aposentado, Departamento de Engenharia
Estrutural e Construção Civil, Centro de Tecnologia da Universidade
Federal do Ceará. e-mail: afrodisi@uol.com.br

Rua Jornalista Nertan Macedo, 370 - 60190-730 - Fortaleza-CE.

Palavras-chave: vidro, vidro tipo soda-cal, reaproveitamento, construção civil,
concreto

RESUMO

A quantidade de resíduos gerados por alguns setores produtivos vem despertando o interesse de pesquisadores para a busca de novos materiais e tecnologias, com o intuito de atender questões técnicas, econômicas, sociais e, principalmente, ambientais.

Partindo-se da premissa que o potencial de resíduo vítreo gerado no Brasil e no mundo é elevado e que o percentual reciclado ainda é preocupante, pois o tempo estimado de decomposição do vidro é de aproximadamente um milhão de anos, procurou-se com esse estudo verificar a possibilidade da reutilização de resíduo vítreo (pó de vidro tipo soda – cal ou vidro branco) na fabricação de concreto.

Buscando-se avaliar as propriedades que estão diretamente relacionadas à durabilidade do concreto, como a resistência à compressão axial e a porosidade, realizaram-se ensaios empregando-se resíduo vítreo em traços de concreto. Fixou-se um traço de referência e estudou-se a variação do teor de pó de vidro soda-cal de 10 a 20 % em intervalos de 5 %.

1. INTRODUÇÃO

O vidro é um dos materiais básicos utilizados nas indústrias e na construção civil. Porém, é um material complexo que pode ser transformado em um grande número de produtos com propriedades físicas e químicas bem distintas. O vidro soda-cal, também chamado “vidro branco” representa 90% de toda a produção mundial. Este tipo de vidro, além de SiO_2 , Na_2O e CaO , que constituem aproximadamente 90% da sua composição, possui outros compostos, alguns provenientes da própria matéria-prima usada, como o Fe_2O_3 e alguns adicionados propositadamente para conferir ao vidro características desejáveis (ABIVIDRO, 2000).

Atualmente a Suíça vem se destacando, com 83,9% de vidro reciclado, seguida da Áustria e Alemanha. Os EUA reciclam cerca de 37% da produção. O Reino Unido, por sua vez, recicla aproximadamente 27,5% da produção. É importante ressaltar que cerca de 10% do lixo doméstico destes países é composto por vidro.

Estima-se que a produção anual do Brasil é de aproximadamente 800.000 toneladas de embalagens de vidro, contudo apenas 27,6% (220,8 mil toneladas) são recicladas. Deste montante, 5% é gerado por engarrafadores de bebidas, 10% por sucateiros e 0,6% oriundo de coletas promovidas pelas vidrarias. O restante, 12%, provém de refugos de vidro gerados nas fábricas. Dos outros 72,4%, parte é descartada, parte é reutilizada domesticamente e parte é retornável (ABIVIDRO, 2000).

Do lixo gerado e depositado nos lixões e aterros do país, 2% é composto por vidro. Estima-se que aproximadamente 70% dos aterros estarão com sua capacidade muito reduzida no próximo milênio, pois o tempo estimado de decomposição do vidro é aproximadamente um milhão de anos (SANTOS, 1998).

Desta forma, pensando-se em diminuir a poluição por resíduo sólido num mundo cada vez mais poluído, de forma cada vez mais séria e ainda em reduzir o desperdício dessas embalagens, que até então são simplesmente descartadas. Propõe-se neste trabalho reutilizá-las na construção civil, mais precisamente na produção de concreto, tendo em vista que outros resíduos já estão sendo usados com sucesso para este fim, como é o caso do vapor de sílica, das cinzas da queima de combustíveis sólidos e das cinzas de casca de arroz. Tais materiais têm sido utilizados como elemento pozolânico na produção de cimento e concreto. Com isso, não apenas o custo de produção é reduzido, mas também podem ser alteradas as propriedades do concreto, como trabalhabilidade e resistência, de modo a atender as várias necessidades de projetos práticos.

2. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

2.1. Conceito de Vidro

A ASTM (American Society for the Testing of Materials) define o vidro como um material inorgânico formado pelo processo de fusão, que foi resfriado a uma condição rígida, sem cristalizar.

Industrialmente pode-se restringir o conceito de vidro aos produtos resultantes da fusão, pelo calor, de óxidos ou de seus derivados e misturas, tendo em geral, como constituinte principal, a sílica ou o óxido de silício (SiO_2), que pelo resfriamento endurecem sem cristalizar (VERÇOSA, 1987).

2.2. Reciclagem

No Brasil a utilização de cacos (resíduo vítreo) na produção de novos recipientes, caracterizando, dessa forma, a reciclagem, surgiu juntamente com a própria indústria vidreira, visando à economia na produção de novas embalagens. A princípio, o retorno desse resíduo deu-se por meio de uma parcela da população carente, que formou uma rede de catação, recolhimento, separação e destinação do vidro recuperado para as indústrias (SANTOS, 1998).

2.3. Alternativas para Reciclagem na Construção Civil

Atualmente, o mercado de reciclagem do vidro está dividido em duas grandes categorias. A primeira e, também tradicional, destina-se à produção de vidro; a segunda opção visa a outros fins, como por exemplo, à produção de tintas reflexivas, de filtros, no uso como agregado em concretos, em bases de pavimentos, na fabricação de matérias abrasivas, entre outras alternativas.

2.4. A Utilização de Resíduos e Adições Minerais no Concreto

É sabido que, o uso de adições minerais no concreto vem gerando melhorias bastante significativas em suas propriedades, tanto no que diz respeito às reações ocorridas no estado fresco, quanto do seu comportamento mecânico e de durabilidade depois de endurecido.

Conforme ALMEIDA (1996), tais adições já eram do conhecimento do homem antes mesmo de Cristo e, com elas, os povos gregos e romanos edificaram obras que perduram até os nossos dias. Todavia, devido à escassez de produtos naturais, que possuíssem propriedades pozolânicas, fez com que, ao longo dos anos, o seu emprego caísse em desuso na maior parte do mundo. Mesmo assim, anos mais tarde, com a realização de estudos, foram ocorrendo descobertas, que desvendaram propriedades pozolânicas em produtos obtidos artificialmente.

As Pozolanas são materiais naturais ou artificiais, na forma de pó que, na presença de água, reagem com componentes do cimento, formando compostos com propriedades aglomerantes. Quando puros, estes materiais permanecem inertes. As pozolanas naturais têm sua origem de terras diatomáceas, tufos de cinzas vulcânicas ou de outros materiais semelhantes. As artificiais podem ser produzidas a partir da combustão do carvão mineral de usinas termelétricas, resultando nas chamadas cinzas volantes (fly-ashes); através de resíduos da produção de ligas metálicas ou ainda por queima

controlada de minerais argilosos. Sílica ativa, cinza volante, argila calcinada, cinza de casca de arroz e os finos de britagem ou "pó de pedra" são exemplos de pozolanas artificiais que apresentam excelentes propriedades cimentantes (NEVILE, 1997).

As adições minerais são utilizadas, na sua grande maioria, em substituição ao cimento Portland (até 70% do consumo), estes materiais podem proporcionar ganhos econômicos significativos. Levando-se em consideração que a reação de hidratação do cimento provoca reações exotérmicas, as adições geram uma redução do calor de hidratação, que é um dos principais responsáveis pelo surgimento de fissuras no concreto. No estado fresco, estas adições conferem ao concreto uma maior trabalhabilidade bem como uma diminuição da segregação (CARASEK, 2000).

2.5. A Produção de Resíduos Sólidos na Cidade de Fortaleza

Atualmente a cidade de Fortaleza encontra-se dividida em seis Secretarias Executivas Regionais (SER) e estas, por sua vez, são subdivididas em Zonas Geradoras de Lixo (ZGL), para efeito do serviço de coleta de resíduo sólidos. O órgão responsável pelo gerenciamento desse resíduo é a Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização (EMLURB).

O potencial de reciclagem de resíduo vítreo da Secretaria Executiva Regional II (SER II), composta pelos seguintes bairros: Praia de Iracema, Cais do Porto, Praia do Futuro I, Praia do Futuro II, Cocó, Dunas, Salinas, Eng. Luciano Cavalcante, Guararapes, pode ser apreciado nos Quadros 1 e 2, a partir de dados fornecidos por MARQUES (1999).

Quadro 1 - Percentagem de Recicláveis, por Material, na SER II, em Fortaleza, 1998. (MARQUES, 1999).

Material	Peso(Kg)	% Reciclagem
Papelão	4294,4	0,62
Papel	5412,8	0,79
Metal (Aço, Alumínio e Cobre)	6916,0	1,01
Vidro	4066,4	0,59
Plástico	6942,3	1,00
Osso	228,5	0,03
Borracha	436,1	0,06
Total de Reciclável	28296,5	4,10
Tot. De Material Coletado	690058,0	

Quadro 2. - Participação, em Porcentagem, de cada Material em Relação ao Total de Materiais Recicláveis Triados, na SER II, Fortaleza, 1998 /1999. (MARQUES: 1999)

Material	(%)
Papelão	15,1
Papel	19,3
Aço	20,7
Alumínio (Latinha)	2,5
Alumínio	1,0
Cobre	0,4
VIDRO	14,4
Branco	9,1
Verde	1,9
Marron	3,4
PLÁSTICO	24,4
1. PET	8,2
2. PEAD	7,7
3. V	0,4
4. PEBD	4,3
5. PP	1,5
6. Outros	2,3
Osso	0,7
Borracha	1,5
Total	100,00

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. Caracterização dos Materiais

3.1.1. Cimento

O cimento utilizado neste experimento foi um cimento Portland com adição(CPII -Z 32 RS), sendo considerando um dos tipos mais empregados na nossa região.

Quadro 3 - Ensaio físicos / Mecânicos do Cimento CII – F32 RS (Cia. Cearense de Cimento Portland).

Ensaio Físicos / Mecânicos							
Resistência à Compressão (MPa)			Finura (%) # 200	Blaine cm^2/g	Tempo de Pega (h: min)		Exp. Quente (mm)
3 Dias	7 Dias	28 Dias			Início	Fim	
22,70	27,00	33,60	1,7	3752	2: 58	4: 00	0,74

3.1.2. Agregados

O agregado miúdo utilizado foi uma areia natural (de rio) originária das margens do Rio Jaguaribe localizado no município de Russas, Ceará. O material é composto por frações que atendem aos limites granulométricos prescritos pela Tabela 1 da NBR 7211 enquadrando-se como uma areia pertencente à zona 3 (areia média).

O agregado graúdo utilizado foi de origem artificial (pedra britada), originário do município de Itaitinga, Ceará. O referido material é composto por frações que atendem aos limites granulométricos prescritos na NBR 7211, enquadrando-se como uma brita de 25 mm.

3.1.3. Pó de Vidro Tipo Soda-Cal

Foi realizada a caracterização química e física do pó de vidro (Tabela 1 e 2, respectivamente). Com o intuito de melhor caracterizar o pó de vidro soda-cal o mesmo passou por alguns ensaios de classificação exigidos pela NBR 12653/1992. Os resultados desses ensaios podem ser apreciados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 1- Análise Química do Pó de Vidro soda-cal

Composição Química (Óxidos)	Teor (%)
SiO_2	72,21
Al_2O_3	1,28
Fe_2O_3	0,88
CaO	10,87
MgO	0,85

Tabela 2: Características físicas do pó de vidro soda-cal.

Características Físicas	
Massa Específica	2,41 Mg/m ³
Superfície Específica	214 m ² /Kg
Finura # 200	0,6 %

Tabela 3 -: Ensaio Químicos do Pó de Vidro Soda-Cal.

Propriedades	Teores Atingidos
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	74,37 %
SO ₃	0,83 %
Teor de Umidade	0,27 %
Perda ao Fogo	0,59%
Álcalis Disponíveis em Na ₂ O	11,13 %

Tabela - 4: Ensaio Físicos do Pó de Vidro Soda-Cal.

Propriedades	Teores Atingidos
Material retido na # 325	23,3 %
Índice de Atividade Pozolânica com o Cimento Portland aos 28 dias.	53,33 %
Índice de Atividade Pozolânica com a Cal aos 7 dias.	3,2 MPa

3.2. Dosagem e Planejamento dos Ensaio

Utilizou-se neste experimento cinco traços básicos (Tabela 5): um de referência, sem adição de pó de vidro soda-cal, do qual derivaram-se os demais, variando-se o teor de adição de pó de vidro soda-cal.

Tabela 5 - Traços Empregados neste Experimento

	Traço em Massa	A/C	Teor Vidro/Cimento
Traço 1 (Referência)	1 : 2,054 : 2,786	0,51	0%
Traço 2 (Com Adição)	1 : 2,054 : 2,786	0,51	10 %
Traço 3 (Com Adição)	1 : 2,054 : 2,786	0,51	15 %
Traço 4 (Com Adição)	1 : 2,054 : 2,786	0,51	20%

É de nosso conhecimento que, as variáveis controláveis que exercem influência direta no comportamento das propriedades dos materiais são inumeráveis e, sendo praticamente inviável a inclusão de todas as fontes de variabilidade em estudo, primeiramente, devido ao curto espaço de tempo e os recursos disponíveis para desenvolvimento da pesquisa, escolheu-se os seguintes fatores controláveis:

Quatro teores de adição de pó de vidro soda-cal em relação ao consumo de cimento – 0%, 10% , 15% e 20%;

2. Três idades clássicas de ensaios para os corpos de prova – 3, 7 e 28 dias;

Neste estudo foram moldados setenta e dois corpos de prova cilíndricos de 10x20 cm de dimensões para avaliação da resistência à compressão axial e dezesseis de 15x30 cm para determinação da absorção de água por imersão, esse parâmetro será avaliado na idade de 28 dias, perfazendo um total de 88 corpos de prova para análise.

Optou-se pela realização dos experimentos em duas betonadas, com a intenção de minimizar os efeitos das variáveis que não podem ser controladas pelo pesquisador, tais como: a temperatura ambiente, umidade do ar, o operador que realiza os ensaios e etc.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Análise Estatística dos Resultados

Utilizou-se neste estudo a Distribuição de Students, pois para amostras de pequeno tamanho a distribuição t é mais sensível ao tamanho da amostra e, por sua vez, é mais correta quando utiliza-se o desvio padrão da amostra (S_x) como parâmetro.

Com base nisso, calculou-se a média amostral (X) das variáveis de análise (resistência à compressão e valores de absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica) para as idades citadas, para os diferentes teores de adição de pó de vidro (0%, 10%, 15% e 20% do consumo de cimento), o desvio padrão amostral (S_x), o coeficiente de variação e, finalmente, para um grau de confiança de 90%, determinou-se o intervalo de confiança para os valores encontrados.

Como o objetivo fundamental do estudo é verificar possíveis alterações que a adição de pó de vidro, em teores de 10%, 15% e 20% possa exercer nas

propriedades do concreto, no que diz respeito à resistência a compressão axial e porosidade, calculou-se o intervalo de confiança para cada parâmetro ou a especificação do erro tolerável.

Para a estimativa do erro, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$e = \pm t(Sx) \times (n)^{1/2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

e = Erro de Estimação ou Erro Máximo Provável;

t = Valor Encontrado, na Tabela de Distribuição t;

n = Tamanho da Amostra;

Sx = Desvio Padrão Amostral;

Os parâmetros encontrados para resistência à compressão axial, absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica, encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 7 e 8.

4.2. Resultado dos Ensaio

4.2.1. Caracterização dos Traços

Tabela 6 - Traços e Propriedades dos Concretos Utilizados.

Componentes	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço 4
Cimento	1	1	1	1
Pó de vidro soda-cal (%)	0%	10%	15%	20%
Areia	2,05	2,05	2,05	2,05
Brita	2,79	2,79	2,79	2,79
Relação a/c	0,51	0,51	0,51	0,51
Propriedades				
Abat tronco de cone(mm)	43	30	30	25
Massa específica (Kg/dm ³)	2,32	2,32	2,31	2,31

4.2.2. Ensaio de Resistência à Compressão Axial

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial, nas idades de 3, 7 e 28 dias. Os valores de resistência apresentados são médias de resultados dos ensaios em 6 corpos-de-prova para cada traço e idade estudados. Nesta mesma tabela é mostrado desvio padrão, coeficiente de variação, erro de estimação e, ainda, intervalo de confiança para os resultados obtidos.

Tabela 7-: Resultado de Resistência à Compressão Axial aos 3, 7 e 28 Dias.

Ensaio	Resistência à compressão axial (MPa)			
	1	2	3	4
Traços				
3 Dias	21,93	21,25	19,87	20,17
Desvio Padrão	0,80	0,91	0,98	1,92
Coef. Variação	0,64	0,83	0,96	3,69
Erro de Estimação	± 0,66	± 0,75	± 0,81	± 1,58
Intervalo de Confiança	21,27 a 22,59	20,50 a 22,00	19,06 a 20,68	18,59 a 21,75
7 Dias	25,48	23,85	25,42	23,88
Desvio Padrão	1,64	0,64	1,72	0,75
Coef. Variação	2,67	0,41	2,95	0,57
Erro de Estimação	± 1,35	± 0,52	± 1,41	± 0,62
Intervalo de Confiança	24,13 a 26,83	23,33 a 24,37	24,01 a 26,83	23,26 a 24,50
28 Dias	32,33	32,40	33,42	32,12
Desvio Padrão	0,33	1,81	1,21	1,05
Coef. Variação	0,11	3,26	1,45	1,11
Erro de Estimação	± 0,27	± 1,49	± 0,99	± 0,86
Intervalo de Confiança	32,06 a 32,60	30,91 a 33,89	32,43 a 34,41	31,26 a 32,98

4.2.3 Absorção, Índice de Vazios e Massa Específica Real

A Tabela 8 mostra os resultados obtidos no ensaio de absorção por imersão. Os valores apresentados são médias de resultados de ensaios em 2 corpos-de-prova para cada traço, estudado na idade de 28 dias. Mostra-se também o desvio padrão, coeficiente de variação, erro de estimação e, ainda, intervalo de confiança.

Tabela 8- Absorção, Índice de Vazios e Massa Específica Real dos Concretos Estudados.

Traço 1	Absorção Imersão (%)	Índice de Vazios (%)	Massa específica Seca (Kg/dm³)
Média	6,00	12,02	2,01
Desvio Padrão	0,52	0,88	0,02
Coeficiente de Variação	0,27	0,77	0,00
Erro de Estimação	± 0,42	± 0,72	±0,02
Intervalo de Confiança	5,58 a 6,42	11,3 a 12,74	1,99 a 2,03
Traço 2			
Média	5,95	12,20	2,05
Desvio Padrão	0,38	0,69	0,01
Coeficiente de Variação	0,14	0,48	0,00
Erro de Estimação	± 0,31	± 0,57	± 0,01
Intervalo de Confiança	5,64 a 6,26	11,63 a 12,77	2,04 a 2,06
Traço 3			
Média	6,08	12,87	12,12
Desvio Padrão	0,61	1,17	0,03
Coeficiente de Variação	0,37	1,38	0,00
Erro de Estimação	± 0,50	± 0,97	± 0,02
Intervalo de Confiança	5,58 a 6,58	11,90 a 13,84	12,10 a 12,14
Traço 4			
Média	6,20	13,13	2,11
Desvio Padrão	0,24	0,49	0,01
Coeficiente de Variação	0,06	0,24	0,00
Erro de Estimação	± 0,20	± 0,41	±0,01
Intervalo de Confiança	6,00 a 6,40	12,72 a 13,54	2,1 a 2,12

5. CONCLUSÃO

O pó de vidro tipo soda-cal, com as características obtidas nesse estudo, não poderia ser classificado como um material pozolânico, conforme parâmetros da NBR 12653 – MATERIAIS POZOLÂNICOS (1992).

Devido à ocorrência significativa de interseções nos intervalos de confiança das médias das resistências à compressão axial, para os diferentes traços propostos, não se pode concluir por definitivo que a adição de pó de vidro tipo soda-cal reduz ou provoca ganho de resistência ao concreto.

Neste experimento, os resultados obtidos nos ensaios de absorção de água, índice de vazios e massa específica, apontam para uma tendência de estabilização dos valores, ou seja, não se observou distorções consideráveis entre os valores das médias do traço de referência e os demais em estudo.

Este trabalho é apenas um estudo inicial sobre o reaproveitamento de resíduo vítreo no concreto (pó de vidro tipo soda-cal), visto a pequena quantidade de resultados disponíveis, todavia, julgamos que as conclusões apresentadas possam dar subsídios para pesquisas futuras neste campo.

Acredita-se que, como as cinzas de casca de arroz, fumo de sílica e etc. com estudos continuados, também os resíduos de vidro, possam ser utilizados no futuro no campo do cimento e do concreto.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, I.R. Superplastificantes, microssílica e durabilidade dos concretos. *Téchne*, n.24, p.30-33, set./out. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado para concreto – especificação. NBR 7211 Rio de Janeiro, 1983.

_____. Materiais Pozolânicos – Especificação. NBR 12653 . Rio de Janeiro, 1992.

MARQUES, Antônio Edson de Oliveira. “O potencial de resíduos sólidos para reciclagem na cidade de Fortaleza”. Dissertação de Mestrado, UFC, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração – Saneamento Ambiental, Fortaleza, 1999 (xérox)

NEVILLE, Adam M., “Propriedades do Concreto”, São Paulo : PINI, 1997, 2ª edição.

SANTOS, Andréa Romano. “Reciclagem de vidro na construção civil”. Pesquisa de iniciação científica, Escola Politécnica da USP – Departamento de Construção Civil, São Paulo: dezembro, 1998(xerox).

VERÇOZA, Enio José. “Materiais de construção”, Porto Alegre: Sagra, 1987, 3ª. Edição, Vol. 1 e 2.

Links Relacionados:

<http://www.abividro.org.br> / (14/02/00 a 18/10/00)

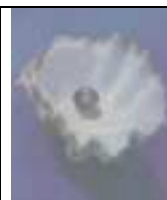
[http:// www.cesec.ufpr.br/](http://www.cesec.ufpr.br/) CARASEK, Helena (23/08/00)



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

UTILIZAÇÃO DO SUBPRODUTO FOSFOGESSO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

RABELO, Ana Paula Brescancini (1); **SOLER**, José Gabriel Maluf (2), **SILVA**,
Nivaldo Carlos (3)

- (1) Doutora em Engenharia Química, Professora do curso de Engenharia Civil da PUC-Minas / *Campus* Poços de Caldas. Av. Padre Francis Cletus Cox, 1661 - Poços de Caldas - MG - CEP: 37701-355.
- (2) Doutor em Engenharia Civil, Professor Adjunto III e Coordenador do curso de Engenharia Civil da PUC-Minas / *Campus* Poços de Caldas. Av. Padre Francis Cletus Cox, 1661 - Poços de Caldas - MG - CEP: 37701-355.
- (3) Mestre em Física, Pesquisador da Comissão Nacional de Energia Nuclear - Laboratório de Poços de Caldas - CNEN/COLAB. Caixa Postal: 913, CEP: 37701-970 - Poços de Caldas - MG.

Palavras-chave: Fosfogesso, construção civil.

RESUMO

Fosfogesso é um subproduto da reação química da rocha fosfática com ácido sulfúrico e água, para produção de ácido fosfórico. Embora o fosfogesso seja, principalmente, sulfato de cálcio dihidratado, ele contém certos metais pesados e radionuclídeos provenientes da rocha fosfática, que têm gerado restrições ambientais ao seu descarte e aplicações. Várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas, visando encontrar-se aplicações para o fosfogesso, sendo uma delas, a aplicação na indústria da construção civil, que requer grandes quantidades de matéria-prima de baixo custo.

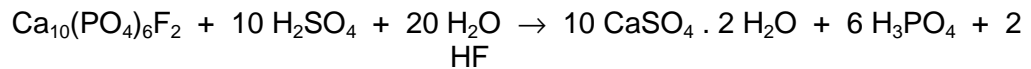
Assim, este estudo tem por finalidade caracterizar o fosfogesso brasileiro e avaliar a sua aplicação na fabricação de concreto. A análise química consistiu na determinação do pH e dos componentes das amostras de fosfogesso. A determinação de seus constituintes foi realizada por meio de difração de raios-X. A avaliação da utilização do fosfogesso na fabricação do concreto foi realizada por meio do acréscimo de fosfogesso ao cimento. Os testes realizados visaram avaliar, principalmente, a resistência.

Os resultados obtidos mostraram ser possível a utilização do fosfogesso na produção de concreto. Os melhores resultados quanto à trabalhabilidade, dentre os analisados, foram obtidos com um fator água/cimento igual a 0,5 e com acréscimo de 10% de fosfogesso, embora tenha ocorrido queda na resistência.

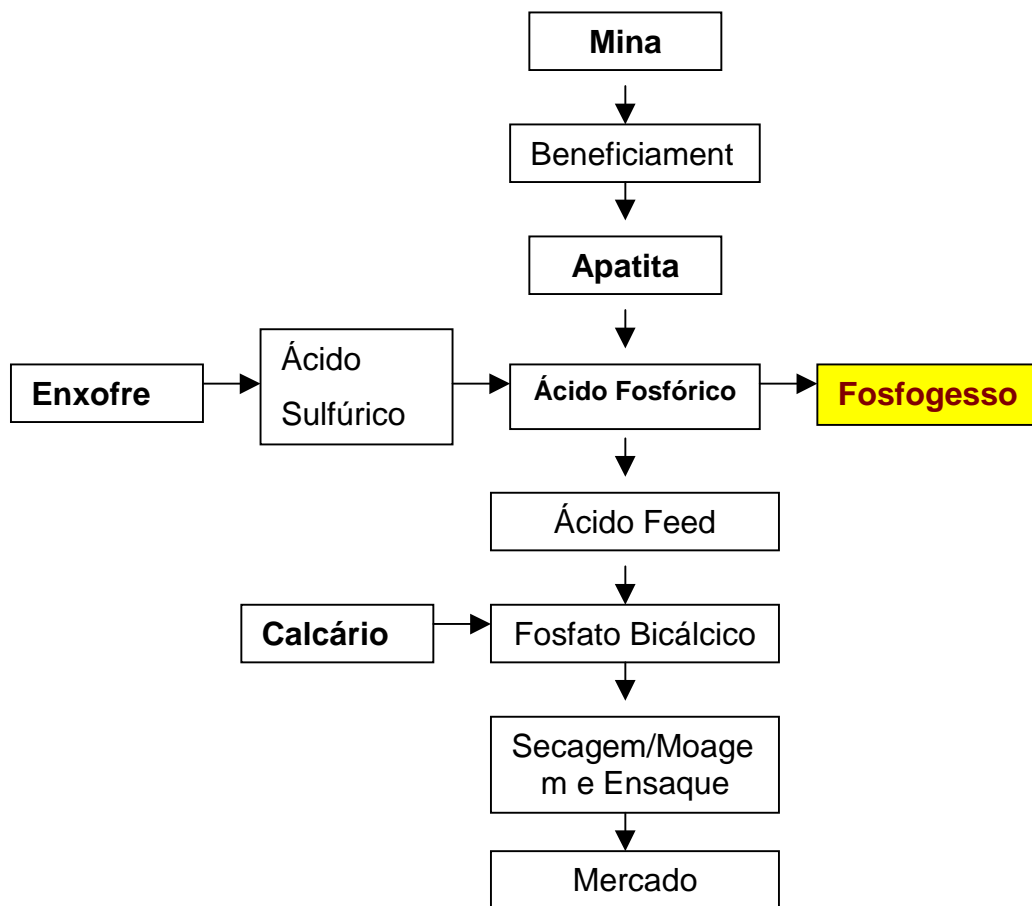
1. INTRODUÇÃO

Fosfogesso é o nome dado a um subproduto da reação química da rocha fosfática com ácido sulfúrico e água. Por meio desta reação, obtém-se o ácido fosfórico, que é usado principalmente como matéria-prima para a produção de fertilizantes fosfatados.

Além do ácido fosfórico, esta reação forma gesso (fosfogesso) e ácido fluorídrico (Luther et al, 1993). Essa reação química é representada pela seguinte equação:



Um esquema de fabricação do fosfócio para alimentação animal, onde há o subproduto fosfogesso como rejeito é apresentado abaixo.



O fosfogesso é um dos grandes problemas da produção do ácido fosfórico, pois são produzidos de 4 a 6 toneladas para cada tonelada de P_2O_5 (Becker, 1983). No Brasil, a produção média anual é de aproximadamente 3,55 milhões de toneladas.

O fosfogesso é composto principalmente por gesso, ou seja, sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) que tem como impurezas: fluoretos, fosfatos, matéria orgânica e minerais como Alumínio e Ferro, metais pesados e radionuclídeos (Luther et al., 1993). Essas impurezas fazem a diferença entre o

gesso e o fosfogesso, além de causar restrições ambientais ao descarte e aplicações do fosfogesso.

O descarte do fosfogesso no ambiente é um problema complexo e envolve questões de natureza econômica, ambiental e legislativa. As alternativas de descarte utilizadas são o lançamento em rios e oceanos ou a disposição em pilhas próximo às fábricas (Schultz et al, 1991)

Por isso, várias pesquisas buscando aplicações para o fosfogesso têm sido desenvolvidas, sendo a aplicação na indústria de construção civil, uma delas (Conklin et al, 1992 e Jacomino et al, 1991).

A indústria da construção civil requer grandes quantidades de matéria-prima de baixo custo e há um aumento do interesse no uso de rejeitos industriais como substitutos dos materiais de construção.

Na construção civil, o fosfogesso pode ser usado como um componente do concreto. A origem do concreto data de mais de mil anos atrás. A moderna tecnologia do concreto começou a desenvolver-se após a descoberta do processo de produção do cimento Portland, em 1824 por Joseph Aspdin. Em 1997, cada ser humano usava em média 1 m³ (ou 2,5 toneladas) de concreto.

Nos dias de hoje, a tecnologia do concreto e a ciência de suas misturas estão desenvolvendo-se de maneira bastante intensa. O conhecimento da micro e nanoestrutura do concreto tem crescido drasticamente nos últimos 20 anos. No século XXI, o cimento e o concreto terão que desenvolver-se com atenção especial aos problemas ambientais e de modo a conseguir-se um desenvolvimento sustentável.

Atualmente, existe pouca informação disponível sobre o fosfogesso produzido pelas indústrias brasileiras e seus possíveis campos de aplicação.

Tendo em vista este panorama, realizou-se um estudo visando primeiramente caracterizar física e quimicamente o fosfogesso brasileiro e posteriormente, estudou-se a sua aplicação na fabricação de concreto.

O trabalho teve início com a caracterização das amostras de fosfogesso. A caracterização química consistiu em análise de pH e determinação dos elementos e substâncias constituintes do fosfogesso analisado.

Após a realização da caracterização química, foram realizados alguns testes visando a aplicação do fosfogesso na produção do cimento e do concreto. Algumas porcentagens foram acrescentadas ao cimento e após a homogeneização esse cimento foi utilizado para a fabricação do concreto, sendo testada sua resistência. Após essa etapa, o concreto foi produzido com a adição de fosfogesso diretamente em sua formulação, ou seja, sem se misturar previamente ao cimento. Corpos de prova foram moldados e suas resistências foram comparadas com corpos de prova que não sofreram adição do fosfogesso.

O impacto radiológico para a utilização do fosfogesso na construção civil, deve ser ainda estudado para que não haja danos à saúde da população.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de fosfogesso analisadas foram obtidas em duas indústrias produtoras de ácido fosfórico localizadas próximo à cidade de Cubatão, no estado de São Paulo, no ano de 1999. Para cada empresa, foram escolhidas duas áreas, chamadas A e B, de cada área selecionada tinha as seguintes dimensões: 240m x 135m para a área A e 210m x 75m para a área B. As amostras foram retiradas com uma profundidade de aproximadamente 8 a 10 metros. As alíquotas, retiradas a cada metro, foram agitadas, homogeneizadas e estocadas em sacos plásticos.

2.1. Análises Químicas

2.1.1. Determinação da composição das amostras de fosfogesso

A composição das amostras de fosfogesso foi obtida por meio da análise de Fluorescência de Raios-X. Os espectros foram obtidos analisando-se amostras em pó, usando-se as seguintes condições: 0-90° - 2 θ , a radiação foi gerada a 50 kV e 25 mA.

2.1.2. Determinação da umidade das amostras de fosfogesso

A umidade foi determinada usando o Teste Speed. Este teste consiste em promover o contato entre a amostra de material (fosfogesso) e carbetos, em um recipiente de metal, completamente fechado que possui um medidor da pressão. Este medidor da pressão mostra a variação da pressão interna do recipiente. A umidade da amostra reage com carbetos e um gás é liberado. Assim, a pressão dentro do recipiente é alterada. O equipamento possui uma curva de calibração que relaciona a variação da pressão interna do recipiente com a quantidade de umidade da amostra analisada.

2.1.3. Preparação dos Corpos de Prova e Análise da Resistência

Foram moldados 16 corpos de prova, cujo traço foi 1 : 2 : 3, com alterações do fator água-cimento (A/C) e nas porcentagens de acréscimo de fosfogesso.

No primeiro lote, seis corpos foram moldados sem a adição de fosfogesso para que pudéssemos ter uma noção da resistência, SLUMP e aparência do concreto produzidos com os materiais que tínhamos.

No segundo lote, dez corpos de prova foram moldados, com adição de uma grande porcentagem de fosfogesso em vários percentuais e também variando-se o fator A/C.

Foram então subdivididos em 5 lotes de 2 corpos de prova cada um, com variações de fosfogesso e A/C a saber:

1º sub-lote: Fator água-cimento (A/C) = 0,4, com acréscimo de 10% de fosfogesso.

2º sub-lote: Fator água-cimento (A/C) = 0,5, com acréscimo de 10% de fosfogesso.

3º sub-lote: Fator água-cimento (A/C) = 0,5, com acréscimo de 15% de fosfogesso.

4º sub-lote: Fator água-cimento (A/C) = 0,5, com acréscimo de 20% de fosfogesso.

5º sub-lote: Fator água-cimento (A/C) = 0,6, com acréscimo de 10% de fosfogesso.

Os corpos de prova preparados tinham 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura e foram rompidos aos 14 dias.

A análise da resistência foi realizada usando-se uma prensa hidráulica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Análise Química

A composição do fosfogesso obtida a partir da análise de fluorescência de raios-X é similar à composição do gesso. A principal diferença encontrada é a quantidade de P_2O_5 .

A figura 1 mostra um dos difratogramas obtidos. Os principais componentes das amostras de fosfogesso analisadas e suas respectivas quantidades estão colocados na tabela 1.

Tabela 1 - Principais componentes das amostras de fosfogesso analisadas e suas respectivas quantidades.

Componente	Quantidade (%)
SiO ₂	2,24
Al ₂ O ₃	0,20
Água combinada	17,4
Fe ₂ O ₃	0,55
Cão	31,06
MgO	0,23
SO ₃	43,08
Na ₂ O	0,03
K ₂ O	0,01
P ₂ O ₅	0,11

Comparando-se a composição das amostras de fosfogesso analisadas com a composição de amostras de fosfogesso de outros, encontradas em trabalhos

científicos (Luther et al, 1993), verifica-se que a composição é bastante parecida, apresentando algumas diferenças consideráveis na quantidade de SiO_2 , K_2O e P_2O_5 . As amostras de fosfogesso brasileiro analisadas continham uma menor quantidade desses compostos se comparadas com o fosfogesso de Alberta, analisado por Luther et al (1993).

A umidade da amostra foi determinada como sendo aproximadamente 3,4%. Isto demonstra que a umidade retida pelas amostras de fosfogesso é muito baixa.

O pH das amostras de fosfogesso também foi determinado e seu valor é de aproximadamente 6,0. Isto mostra que as amostras de fosfogesso analisadas têm um caráter ácido, contudo esta acidez não é muito acentuada.

Os resultados da análise química mostram que a composição, umidade e o pH das amostras não representam problemas para a aplicação do fosfogesso na construção civil. Assim, em várias aplicações, dentre elas a produção de concreto, o fosfogesso poderia ser usado em substituição ao gesso.

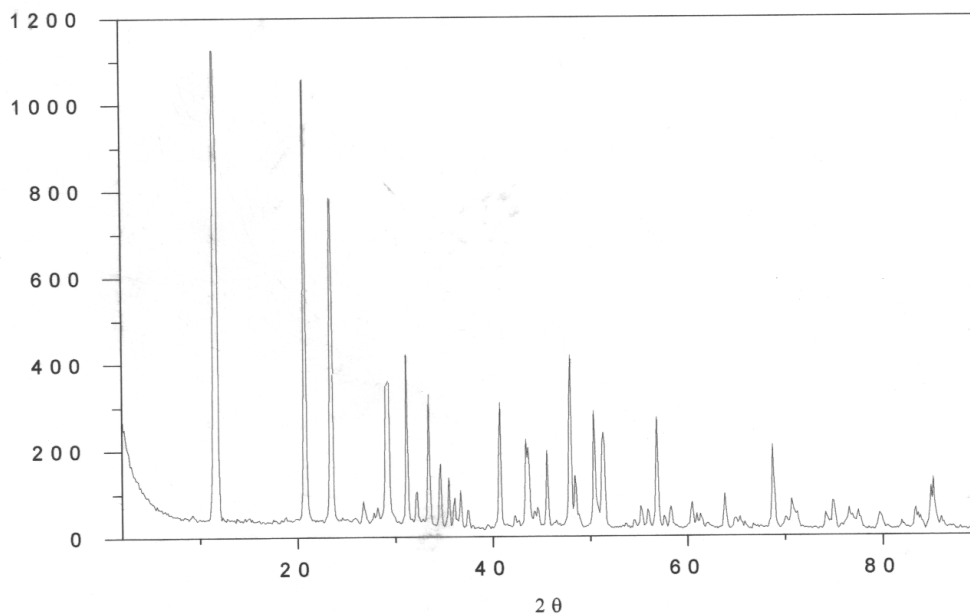


Figura 1- Espectrograma de Raios-X de uma amostra de fosfogesso.

3.2. Avaliação da Utilização do Fosfogesso na Fabricação de Concreto

Analisando-se os corpos de prova produzidos de acordo com os parâmetros apresentados na apresentação dos materiais e métodos, percebeu-se claramente que o fator água-cimento continua a ser um fator importante tanto na resistência do concreto, quanto em sua trabalhabilidade.

Nesse caso, percebeu-se que o fator $A/C = 0,5$ era o de melhor trabalhabilidade, apesar de ter sido encontrada a menor resistência, conforme apresentado na figura 2.

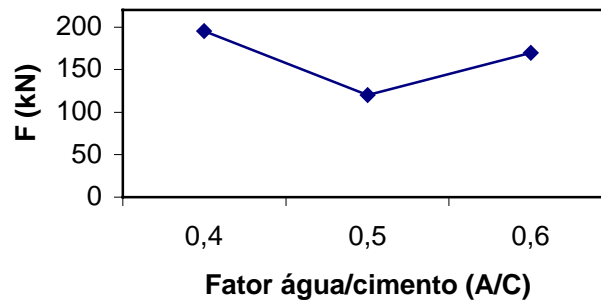


Figura 2: Fator A/C X Força com acréscimo de 10% de fosfogesso.

O fosfogesso que é adicionado ao concreto tende a absorver parte da água acrescentada para a fabricação do concreto. Isso ocorre devido ao fosfogesso ser um material que contém uma umidade muito baixa.

Para o mesmo fator A/C e variando-se a porcentagem de fosfogesso, percebe-se uma forte queda de resistência, conforme pode ser visto na figura 3.

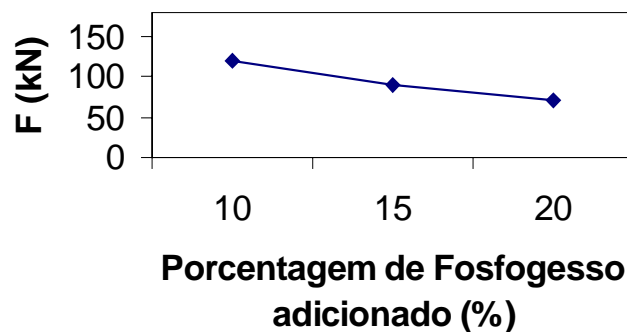


Figura 3: Porcentagem de fosfogesso X Força para fator de A/C = 0,5.

Com esses resultados, percebe-se que embora viável sua utilização, deve-se utilizar pequenas quantidades de fosfogesso, quantidade essa que será estudada em trabalhos futuros. A resistência com acréscimo de fosfogesso nessas porcentagens caiu muito, o que já era esperado, uma vez que a água foi retirada pelo fosfogesso.

É interessante também observar que a resistência dos corpos de prova com fosfogesso ficaram entre 30 a 50% dos corpos de prova sem fosfogesso. Mesmo assim, é possível obter-se corpos de prova com resistências dentro das normas vigentes, usando-se o fosfogesso na composição do concreto usado na sua preparação.

Considera-se necessário um estudo radiológico do fosfogesso afim de assegurar que este não contenha elementos radioativos em quantidades superiores às permitidas e que sua utilização como material de construção não cause nenhum dano à saúde e ao ambiente.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos na análise química do fosfogesso brasileiro, pode-se concluir que este é composto principalmente por gesso (sulfato de cálcio dihidratado) e tem algumas impurezas como SiO_2 e Fe_2O_3 em porcentagens mais elevadas (2,24% e 0,55%, respectivamente). Sua composição é semelhante à composição do fosfogesso produzido em outros países e regiões.

Sua utilização como um componente de materiais de construção é possível devido à sua composição ser similar à do gesso e à quantidade de impurezas determinadas ser pequena. A umidade e o pH determinados neste trabalho não apresentam problemas para o seu uso na construção civil. A umidade foi determinada como sendo 3,4% e o pH como sendo 6,0.

Quanto à sua aplicação na fabricação de concreto, pode-se concluir que é viável, porém deve-se usar pequenas quantidades de fosfogesso.

Observou-se que a resistência do concreto diminuiu com o acréscimo de fosfogesso nas porcentagens estudadas. Este comportamento já era esperado porque o fosfogesso tende a absorver uma parte da água.

Os melhores resultados, dentre as análises realizadas, em relação ao fator água/cimento (A/C) foram obtidos nas seguintes condições: A/C igual a 0,5 e 10% de fosfogesso adicionado. Nestas condições, a resistência obtida foi da ordem de 120 kN.

Com os resultados obtidos pode-se concluir que a utilização do fosfogesso na preparação de concreto é possível, porém deve-se estudar melhor dentro de quais limites esse acréscimo pode ser feito, a fim de obter-se um produto com boa trabalhabilidade e resistência.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BECKER, P., *Phosphates and phosphoric acid*. New York: Marcel Dekker Inc, 1983. 471p
- JACOMINO, V.M.F. Avaliação do impacto ambiental radiológico decorrente da utilização de fosfogesso na construção de aterros. I ENCONTRO NACIONAL DE APLICAÇÕES NUCLEARES, Recife, 1991. Anais, p. 17-25.
- LUTHER, S. M.; DUDAS, M. J. and RUTHERFORD, P. M. *Radioactivity and Chemical Characteristics of Alberta Phosphogypsum; Water, Air and Soil Pollution* 69: 277-290, 1993.
- SCHULTZ, J.J.; GREGORY, D.I.; ENGELSTAD, O.P. Phosphate fertilizers and the environment- executive summary. *Agro-chemicals news in brief*, vol XIV, nº 4, Oct. 1991.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

UTILIZAÇÃO DE ENTULHO DE CONSTRUÇÃO CIVIL COMO AGREGADO GRAÚDO, PARA A CONFECÇÃO DE NOVOS CONCRETOS

BRITO, L.A (1); CAVALCANTE, J. R. (2); CHERIAF, M. (3)

- (1) Graduando Pesquisador do Departamento de Engenharia Civil / Núcleo de Pesquisa na Construção / Grupo ValoRes da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Santa Catarina-SC. CEP 88040-900. E-mail: leonardo@npc.ufsc.br
- (2) CAVALCANTE, J.R. Prof^a., Universidade de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil / Núcleo de Pesquisa na Construção / Grupo ValoRes da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Santa Catarina-SC. CEP 88040-900. E-mail: janaide@npc.ufsc.br
- (3) CHERIAF, M. Prof^o. Convidado, Universidade de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil / Núcleo de Pesquisa na Construção / Grupo ValoRes da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. Santa Catarina-SC. CEP 88040-900. E-mail: malik@npc.ufsc.br

Palavras-chave: Concreto, reciclagem, agregado reciclado.

RESUMO

Buscou-se enfatizar a reciclagem do entulho através do aproveitamento do agregado reciclado, baseando-se na elaboração de procedimentos e técnicas de controle e dosagem para uso deste material em substituição à brita natural. Procurou-se igualmente elaborar um procedimento considerando as características de trabalhabilidade e a análise da resistência à compressão uniaxial, através de rompimentos de corpos de prova cilíndricos. Num primeiro tempo, o estudo foi elaborado em um entulho denominado sintético, fabricado em laboratório, visando a reprodução de um concreto usualmente fornecido pelas empresas concreteiras, com valores de fck médios usuais de 18 MPa, conforme pesquisa realizada na cidade de Florianópolis. O estudo ainda envolveu o tratamento necessário a que foi submetido o entulho para alcançar as dimensões adequadas, ou seja, dimensão característica entre 9,5mm e 19,0mm.

Em uma segunda etapa o entulho foi submetido à situações de saturação, onde analisou-se seu potencial de absorção, fator bastante significativo para a produção de um concreto utilizando esse material reciclado. Este estudo envolveu a análise comparativa da resistência à compressão e trabalhabilidade, com os concretos confeccionados com agregado natural seco (referência) e os concretos confeccionados agregado reciclado de concreto seco.

Com base nos resultados alcançados chegou-se à valores de relação de substituição de material natural por material reciclado da ordem de 50%, onde a perda de resistência em relação ao concreto de referência foi de 30%, em média, para a pior situação, ou seja, relações de substituição abaixo de 50%, tenderam a fornecer valores de resistência mais próximos do concreto referência para resistências determinadas aos 28 dias. O valor da relação **água/cimento** foi um fator importante para a análise dos concretos submetidos a saturação, no estudo dos teores de argamassa ideal (α) e do traço final (m) de cada dosagem, onde os valores dos consumos de cimento estão intimamente ligados.

1. INTRODUÇÃO

Já se sabe que nos dias de hoje não se pode excluir o fato de que a quantidade de resíduo gerado, tanto pela atividade da construção civil como por qualquer outra fonte geradora, é algo de grande interesse de ser observado em todos aspectos da geração, pois se torna uma grande problemática quando integra-se os impactos econômicos, tecnológicos e ambientais de toda fase de gerenciamento: coleta, tratamento, reaproveitamento e disposição final.

Em virtude da problemática ocasionada pela geração de grandes quantidades de resíduos de construção e demolição, C&D, como é apresentado na figura 1, e de sua potencial deposição em locais inadequados e, ainda sabendo-se que a construção civil pode absorver quase a totalidade de seus resíduos, é que se propôs o presente estudo.

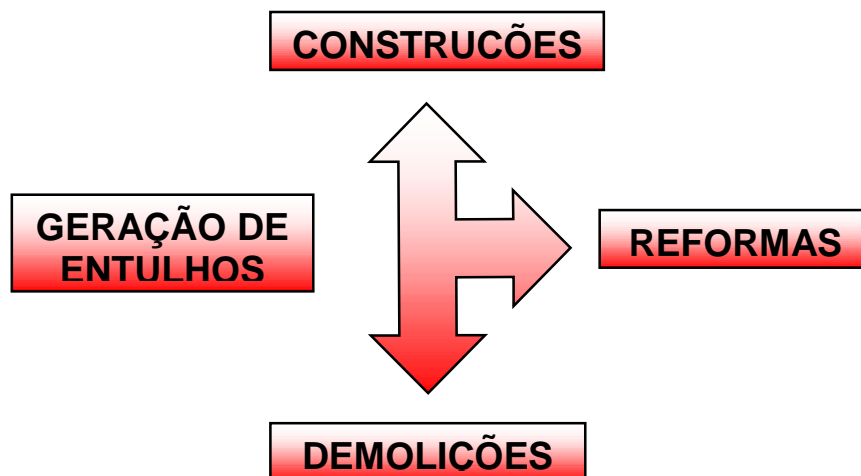


Figura 1: Geração de Entulho de Construção

2. OBJETIVOS

O estudo dos concretos confeccionados com agregados reciclados apresentado neste trabalho, tem como objetivo principal, caracterizar as propriedades físicas e mecânicas de concretos produzidos com agregados graúdos reciclados secos e saturados e sua aplicação na dosagem destes concretos, além de apresentar uma breve comparação de custos. Os ensaios feitos nos concretos foram:

- **Concreto fresco:** trabalhabilidade, consistência e consumo de cimento.
- **Concreto endurecido:** resistência à compressão.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

O cimento empregado foi o Portland composto (CPIV-32). O agregado miúdo utilizado foi uma areia natural de origem quartzosa. O agregado reciclado utilizado era proveniente da britagem dos concretos fabricados em laboratório de acordo com as dosagens de concreteiras de Florianópolis, como mostra a figura 3 e 4. O material graúdo natural utilizado possuía o diâmetro máximo de 19,0mm. As características dos agregados, determinadas em conformidade com as Normas da ABNT, encontram-se apresentadas na tabela 1.

Tabela 1: Características dos Agregados Graúdos Naturais e Reciclados.

Características Físicas	Agregado Natural	Agregado Reciclado
Massa específica (kg/dm ³) NBR-9776 e NBR-9937	2,63	2,31
Absorção (%) NBR-9937	Após 1 hora	2,85
	Após 24 horas	3,50
Dimensão máxima característica (mm) NBR-7217	19,0	19,0
Quantidade de Argamassa Aderida (%)	-	40,97
Abrasão Los Angeles NBR-6465/84	25,7	43,7

As boas características físicas e químicas, e também visuais (figura 2), apresentadas pelo entulho utilizado na pesquisa são pontos importantes nessa linha de pesquisa, pois habilita essa categoria de resíduo como apto para o uso em determinados tipos de concreto.



Figura 2: Agregado Reciclado Sintético

Como pode-se observar os valores da massa específica dos agregados reciclados são menores em relação aos agregados naturais, com cerca de 13% de diferença. Isso devido a camada de argamassa envelhecida em volta do agregado reciclado, determinada através do ataque ácido com destruição da argamassa aderida.

Na abrasão, tanto o agregado reciclado seco quanto o saturado apresentaram valores de abrasão bem maiores de que o agregado natural, da ordem de 60% a mais. Apesar disto eles são considerados aptos para a produção de concretos pela NBR 6465/84 que impossibilita o uso do material somente quando ultrapassados o valor de 50% de perda.

O potencial de absorção é um fator bastante significativo para a produção de um concreto utilizando esse material reciclado, pois indicará quanto será a demanda de água, alterando assim a relação água/cimento do concreto confeccionado. Nesse estudo foi visto que o valor final de absorção foi de aproximadamente 3,5%, valor considerado baixo em comparação a outros estudos (figura 3).

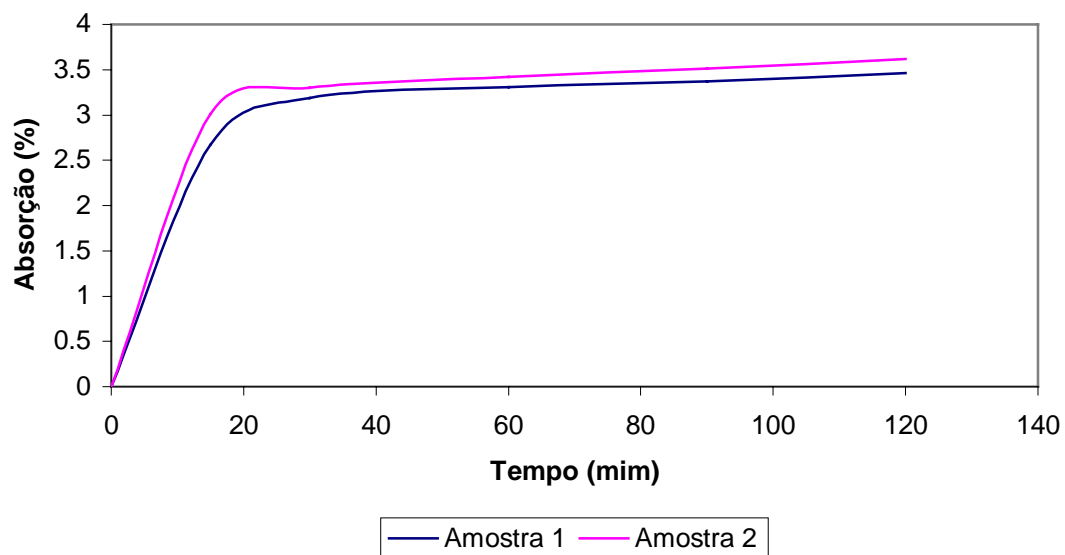


Figura 3: Absorção do Agregado Reciclado Sintético

4. DOSAGEM DOS CONCRETOS

O método de dosagem utilizado foi denominado método do IPT adaptado, pois seguindo procedimento do método do IPT convencional, leva em consideração a densidade do agregado reciclado no cálculo dos traços de estudo.

Cabe destacar que o método baseia-se no ajuste de curvas de resistência e trabalhabilidade em função dos requisitos estruturais e de produção do concreto em canteiro.

Tabela 2: Resultados da Etapa de Acerto de Dosagem

Teor de substituição (%)	α_i em massa (%)	m = 3,5	m = 5,0	m = 6,5
0	54	1:1,46:2,04	1:2,24:2,76	1:3,04:3,46
25	58	1:1,63:1,40:0,47	1:2,48:1,89:0,63	1:3,33:2,38:0,79
50	60	1:1,72:0,89:0,89	1:2,60:1,20:1,20	1:3,48:1,51:1,51
75	62	1:1,83:0,42:1,25	1:2,72:0,57:1,71	1:3,66:0,71:2,13
100	64	1:1,90:1,60	1:2,84:2,16	1:3,79:2,71

5. PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

As misturas foram preparadas mecanicamente em betoneira basculante de eixo inclinado com capacidade para 120 litros. Os agregados miúdos utilizados estavam secos em estufa, a brita natural seca ao ar e os agregados reciclados foram saturados em água e retirados somente nos momentos da produção. Os componentes das misturas obedeceram a seguinte ordem de lançamento na betoneira: gráudo - parte da água - cimento - miúdo – reciclado – água até acerto de Slump.

Após a adição total da água que resultava em valores de Slump da ordem de 8 ± 1 cm, foram moldados os corpos de prova cilíndricos de dimensões 10x20 cm, sob as mesmas condições de temperatura e umidade relativa. Adotou-se o adensamento mecânico, com vibrador de agulha. Após 24 horas, os exemplares foram desmoldados e levados à cura saturada até a data dos ensaios.

6. VERIFICAÇÃO DA PERDA DE ABATIMENTO

A perda de abatimento pode ser definida como a perda de fluidez do concreto fresco com o passar do tempo. Ela ocorre quando a água livre de uma mistura é consumida pelas reações de hidratação, por adsorção na superfície dos produtos de hidratação e por evaporação (MEHTA e MONTEIRO, 1994). No caso de concretos com agregados reciclados, o principal fator de consumo da água livre pode ser atribuída à absorção por parte dos agregados.

Este ensaio foi realizado para os concretos de referência e para os concretos produzidos com agregados reciclados secos, devido à suspeita de que

pudesse haver uma rápida perda na trabalhabilidade dos concretos com agregados secos, tendo em vista os valores de absorção mais altos desses agregados, para a primeira hora após a mistura.

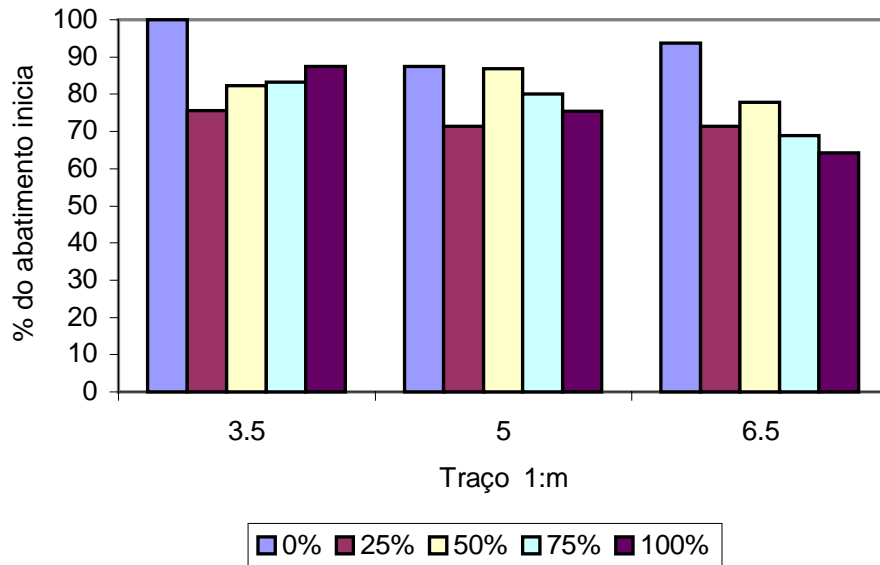


Figura 4: Perda de Abatimento em Relação ao Abatimento Inicial

Analisando a figura 4 percebe-se que ocorreu uma perda de abatimento mais acentuada para os traços mais pobres, aqueles que incorporam maior quantidade de agregados em termos relativos. Isto deve-se ao fato que quanto maior a quantidade de agregados reciclados secos incorporados, mais água os mesmos devem extrair da mistura, fazendo com que haja uma perda mais acentuada de abatimento nos instantes iniciais.

7. FATOR ÁGUA/CIMENTO

Um problema dos concretos com agregados reciclados é a determinação relação **água/cimento** efetiva, ou seja, aquela calculada a partir da quantidade de água que ocupa um espaço exterior às partículas de agregado quando o volume total do concreto se estabiliza. No caso dos agregados reciclados secos, a água correspondente a absorção efetiva foi descontada da água de hidratação, para efeito de cálculo, de suas relações água/cimento, simulando uma situação mais próxima da real, desta forma, com a parcela da água correspondente a absorção efetiva sendo absorvida pelos agregados reciclados.

Tabela 3: Relação a/c para os concretos de traço m=5,0

% Substituição	a/c Total AGR Secos	a/c Efetiva AGR Secos	a/c AGR Saturados
25%	0,61	0,63	0,58
50%	0,60	0,65	0,59
75%	0,56	0,62	0,59
100%	0,64	0,71	0,60

A análise da tabela 3 confirma que, descontando-se a água de absorção efetiva nos cálculos das relações água/cimento dos concretos com agregados secos, as mesmas se tornam mais próximas dos valores obtidos para os concretos com agregados saturados, o que pode ser um indicativo de que estas relações onde se desconta a água de absorção efetiva realmente reflitam o que ocorre no concreto, fornecendo uma estimativa confiável da quantidade da água de amassamento que é absorvida pelos agregados.

8. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

As propriedades mecânicas dos concretos foram determinadas conforme a norma NBR 5739, "Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos – Método de ensaio". Os resultados destas propriedades estão apresentados nas figuras 6 e 7.

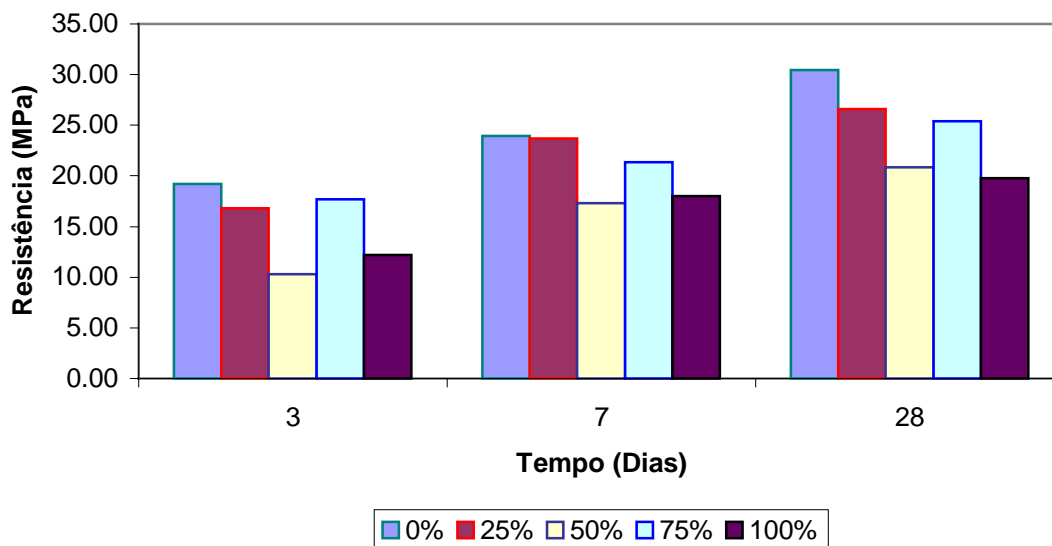


Figura 5: Resistência à Compressão dos Concretos com Agregados Reciclados Secos de Traço m=5,0

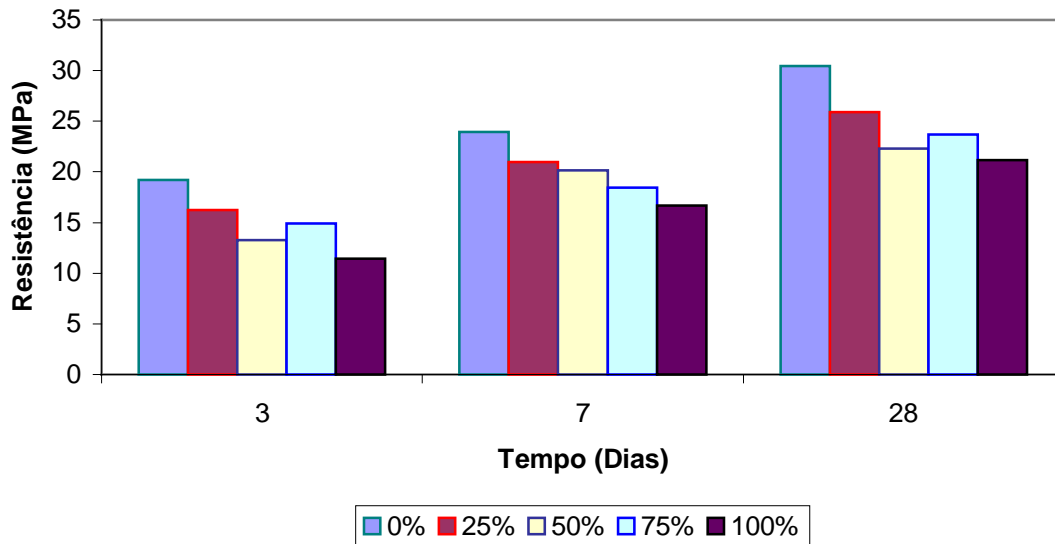


Figura 6: Resistência à Compressão dos Concretos com Agregados Reciclados Saturados de Traço m=5,0

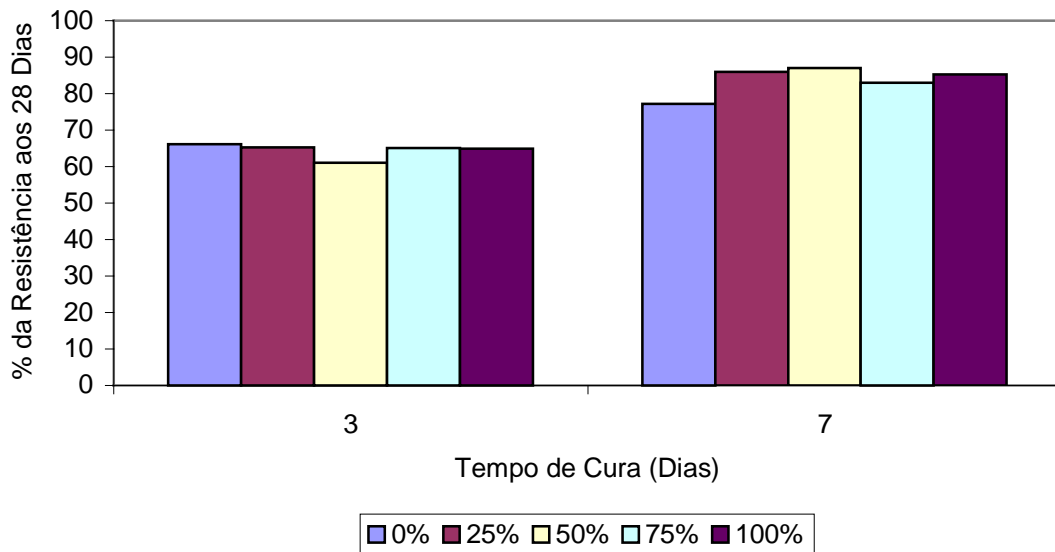


Figura 7: Porcentagem Média da Resistência à Compressão aos 3 e 7 Dias, em Relação aos 28 Dias

Pelas figuras 5, 6 e 7 percebe-se que os concretos contendo tanto agregados reciclados secos como saturados apresentaram resistências relativamente mais baixas até os 3 dias de idade. No período compreendido entre 3 e 7 dias os concretos com agregados reciclados apresentaram maior ganho de resistências, ultrapassando os valores dos concretos de referência. A partir daí, os concretos de referência voltam a ter um maior ganho percentual de resistência. Pode-se concluir então que os concretos com agregados reciclados apresentaram maior desenvolvimento de resistências no período compreendido entre 3 e 7 dias de idade, em relação aos concretos com agregados naturais.

9. CONSUMO DE CIMENTO

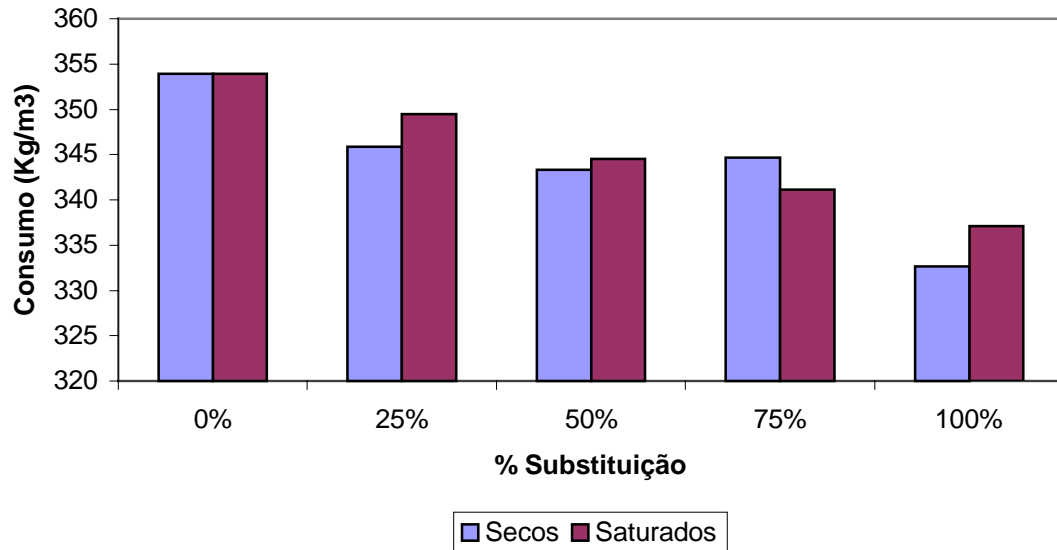


Figura 8: Consumo de Cimento para os Concretos com Agregados Reciclados de Traço $m=5,0$

O consumo de cimento dos concretos produzidos variou de acordo com cada traço, em virtude da não fixação da relação água/cimento. Mesmo apresentando na figura 8 os valores para o traço $m=5,0$, os valores de consumo de cimento, como já era esperado, se mostraram bastante próximos nos concretos com traços similares, apresentando em geral variações inferiores a 3% do consumo individual. Foi utilizada a relação água/cimento efetiva para o cálculo do consumo de cimento.

10. CUSTO DOS CONCRETOS

Os custos dos concretos fabricados foram calculados com base nos valores dos materiais, em pesquisa na cidade de Florianópolis. A figura 9 apresenta o gráfico do custo em relação aos teores de substituição e a tabela 4 mostra os valores referentes aos materiais em R\$ por kilo de material.

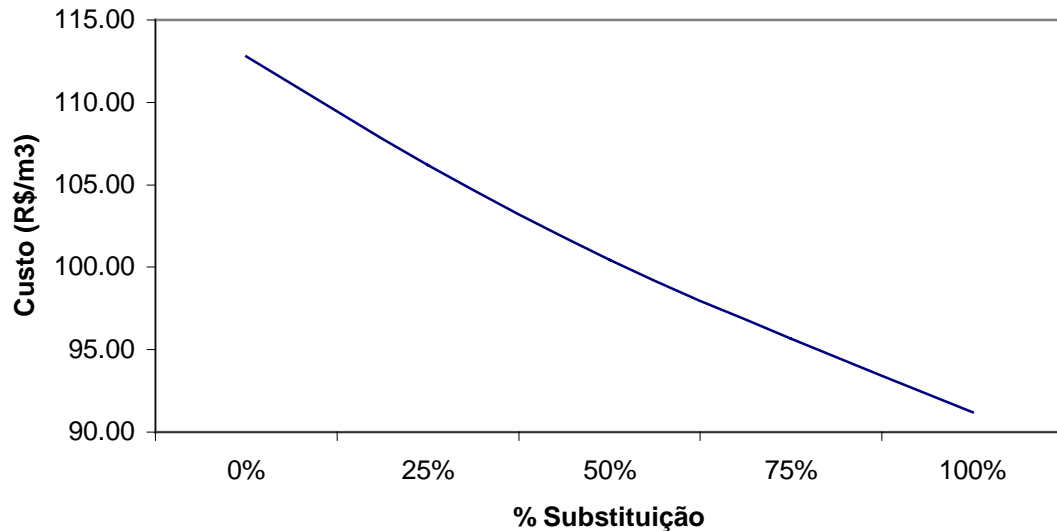


Figura 9: Custo Estimado dos Concretos com Agregados Reciclados de Traço m=5,0

Tabela 4: Custo dos Materiais Envolvidos na Composição dos Concretos

Material	Cimento	Areia	AGR	Brita	Água
R\$/kg	0.22	0.013	0.01	0.03	0.001

11. CONCLUSÃO

O agregado reciclado quando usado saturado é um material praticamente igual ao agregado natural, isso quanto a trabalhabilidade, diferindo no estado em que ele é lançado na betoneira, ou seja, com a superfície mais ou menos seca, que resulta numa maior ou menor demanda de água para se atingir critérios de dosagem determinados.

Quanto aos resultados de resistência os concretos fabricados com agregados reciclados, para o traço utilizado, forneceram valores mais baixos, da ordem de 20% a menos, quando comparados com os concretos referência.

Quando se procura fazer um concreto com resistências mais baixas, o uso do agregado reciclado pode se tornar muito viável quando se adota a técnica correta para sua utilização prática. Isso é necessário que se faça pois o tratamento de saturação dado ao agregado reciclado é o ponto chave para seu bom desempenho como agregado graúdo.

A figura 10 mostra um esquema final resultante levando-se em consideração a taxa de absorção e o traço utilizado.

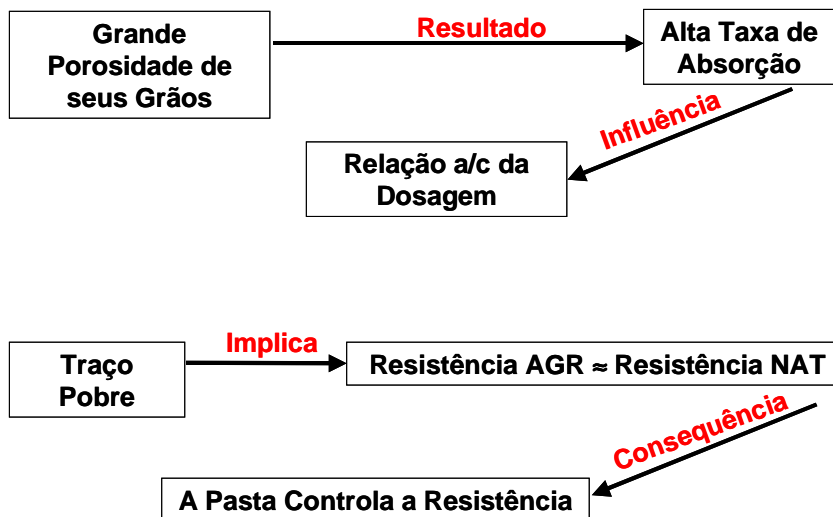


Figura 10: Fluxograma de Conclusões

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

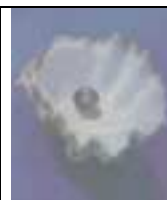
- ANDRADE, R. C.; ROCHA, J. C.; PRUDÊNCIO JR, L. R.; CHERIAF, M. Aproveitamento do Entulho da Construção Civil como Agregado para Concreto. In: II SIMPOSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 1998, Porto Alegre. II Simposio Internacional de Qualidade Ambiental. 1998. v.1. p.138-144.
- ANDRADE, R. C.; GLEIZE, P. J. P.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Reciclagem do Entulho de Fabricação de Agregados. In: VII Seminário de Iniciação Científica da UFSC, 1997, Florianópolis. VII Seminário de Iniciação Científica da UFSC. 1997. p. 66.
- BAZUCO, R. S., Utilização de Agregados Recilcados de Concreto para a Produção de Novos Concretos. Florianópolis, 1999. Tese de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Estado de Santa Catarina.
- ROCHA, J. C.; CHERIAF, M.; XAVIER, L. L.; BRITO, L. A. Gestão de resíduos da coleta especial. Editora: FINEP – Programa PROSAB, (no prelo), 2001.
- MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais. Ed. PINI, 1a edição. São Paulo, 1994.
- NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. Ed. PINI, 2a edição. São Paulo, 1997.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**PROPRIEDADES DE CONCRETOS ESTRUTURAIS
INCORPORANDO CINZA PESADA COMO PARTE DA AREIA**

KREUZ, Anderson Luiz (1); **CHERIAF**, Malik (2); **ROCHA**, Janaíde
Cavalcante (3)

- (1) Eng^o. Civil, Mestrando no Departamento de Engenharia Civil, Área da Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Cx. Postal 476. Florianópolis SC. CEP 88040-900 E-mail: ander@npc.ufsc.br
- (2) **CHERIAF**, Malik Prof. Visitante, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Área da Construção Civil – UFSC. Cx. Postal 476. CEP 88040-900 Florianópolis SC. E-mail: malik@npc.ufsc.br
- (3) **ROCHA**, Janaíde Cavalcante Prof^a Titular, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Área da Construção Civil – UFSC. Cx. Postal 476. CEP 88040-900 Florianópolis SC. E-mail: janaide@npc.ufsc.br

Palavra-Chave: Cinza pesada, concreto, valorização.

RESUMO

Nos dias atuais, o uso da cinza leve da queima do carvão mineral como pozolana em substituição parcial do cimento é bastante comum. No entanto, a cinza pesada, gerada nos processos termoelétricos, não apresenta atenção para seu uso, apesar de ser gerada em grandes quantidades e apresentar custos para sua manutenção em bacias.

Com o objetivo de ajudar na busca de uma solução para a cinza pesada, fez-se uma pesquisa para avaliar o desempenho de concretos utilizando cinza pesada. Confeccionou-se diferentes traços de concretos: traços com substituição da areia por cinza pesada e traços de referência empregando materiais convencionais (cimento:brita:areia).

Confeccionou-se em laboratório, concretos com cinza pesada em substituição parcial da areia. Foram avaliadas principalmente as propriedades dos concretos frescos e propriedades mecânicas dos concretos endurecidos.

Procurou-se fixar o valor da consistência de todas as misturas em 80 ± 10 mm, determinado pelo abatimento do tronco de cone (Slump test), sendo que para isso foi necessário alterar a quantidade de água na mistura. Quanto maior o valor de substituição da areia pela cinza pesada, maior foi o consumo de água, mas isto não refletiu na resistência à compressão dos concretos, já que pelos resultados obtidos, observou-se que os concretos utilizando adições de cinza pesada apresentam maiores resistências à compressão em relação aos de referência.

1. INTRODUÇÃO

A partir da queima do carvão mineral, usado nas usinas termelétricas, resultam dois tipos de cinza como resíduo: as cinzas leves ou volantes (60-80%) e as cinzas pesadas (20-40%). As cinzas volantes estão em grande parte sendo empregadas na fabricação de cimentos compostos, enquanto que a cinza pesada não apresenta uso comercial POZZOBON (1999).

ROCHA *et al* (1999), estudaram diferentes lotes de cinza, oriundos do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, e observou que as características pozolânicas de algumas amostras de cinza pesada não diferenciavam das amostras de cinza volante daquele mesmo complexo. Alguns cuidados devem ser tomados quando da utilização da cinza pesada, pois as características deste material são bastante variáveis, dependendo de fatores como: tipo de carvão, beneficiamento e moagem do carvão, tipo de caldeira, extração e manuseio das cinzas.

De um modo geral as cinzas pesadas possuem granulometria mais grosseira em relação a cinza volante, o que naturalmente leva a um decréscimo da atividade pozolânica das cinzas pesadas. Normalmente estas atendem às especificações de normas para serem consideradas como pozolanas.

RAVINA (1998) estudou a substituição parcial da areia fina pela cinza volante em concretos, e afirma que o efeito da cinza volante na resistência a compressão pode ser relatada por diferentes mecanismos. Nas primeiras idades, a maior contribuição na resistência à compressão vem do efeito filler que é um material finamente dividido e que exerce duas funções: uma de empacotamento e outra de reação físico-químico, que seria a criação de pontos para a nucleação dos produtos de hidratação ajudando na aceleração do processo de hidratação e modificando a estrutura da pasta de cimento endurecida. Já para idades tardias (acima de 28 dias) o efeito é devido à reação pozolânica da cinza volante.

2. MATERIAIS

Cimento – foram utilizados dois tipos de cimento, o CPI-S (cimento comum) e o CPV ou ARI (de alta resistência inicial).

Cinza pesada – proveniente do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, coletado diretamente de uma bacia de decantação. Dimensão máxima característica de 1,20 mm e com 78% do material retido na peneira de abertura 0,075 mm.

Brita - foi utilizada brita de graduação 1 (um), segundo a NBR 7211, ou seja, menos de 10% fica retido na peneira de tamanho 19mm e mais de 80% fica retido na peneira de abertura 9,5%.

Areia - módulo de finura igual a 3,04 e sendo classificada segundo a NBR 7211 como areia grossa.

3. METODOLOGIA DE TESTES

A determinação da consistência dos concretos foi através do abatimento do tronco de cone (Slump test). Com o objetivo de verificar a influência da cinza pesada no consumo de água, o valor fixado para este ensaio foi de 80 ± 10 mm, sendo que para alcançar este resultado, variou-se à quantidade de água em cada concreto até atingir tal abatimento.

A cinza pesada possui a característica de absorver grande quantidade de água, a fim de avaliar a influência desta na trabalhabilidade, fez-se um estudo de perda de abatimento do concreto fresco, ao passar do tempo.

Os concretos foram submetidos aos ensaios de resistência a compressão aos 3, 7, 28 e 90 dias, utilizando para cada ensaio quatro exemplares, sendo que o resultado mais dispersivo destes era descartado. Os corpos de prova usados foram cilíndricos com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

4. PROPORÇÃO DAS MISTURAS

O método de dosagem empregado foi baseado na metodologia do IPT. Foram elaboradas curvas de dosagens de concretos para vários teores de substituição da areia pela cinza pesada (AREIA/CZP): 0% (referência), 10%, 25% e 50%, com dois tipos diferentes de cimento o CP-V(ARI) e CPIS. Para cada um destes tipos de concretos, empregaram-se diferentes traços, utilizando-se as proporções m (cimento : agregados) iguais a (1:3,5), (1:5,0) e (1:6,5).

As substituições da areia pela cinza pesada foram em relação ao volume absoluto, devido à diferença entre a massa específica destes materiais. Enquanto a areia apresentava uma massa específica de 2.605 g/cm^3 para a cinza pesada era de 1.813 g/cm^3 .

Em função da alta retenção de umidade da cinza pesada, optou-se por utilizá-la com sua umidade natural e igual a 44%, já que o custo para secá-la num eventual uso comercial seria elevado. Esta água presente na cinza pesada foi corrigida na adição da cinza pesada e considerada na relação a/c.

Os valores do teor de argamassa foram os mesmos para todas as misturas utilizadas, e igual a 52%.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Relação a/c e Consistência

Nas Tabelas 01 e 02 estão apresentadas as quantidades de materiais utilizados nos concretos e a relação água/cimento (a/c) com o valor do abatimento (slump test) medido na hora da moldagem dos corpos de prova.

Tabela 01 – Características da dosagem dos concretos com cimento CPI-S.

Substituição (%)	Traço (m)	Traço Final (em massa) (cimento: areia: CZP*:Brita)	Relação a/c	Slump (cm)
0%	m=3,5	1:1,34:0,00:2,16	0.43	85
	m=5,0	1:2,12:0,00:2,88	0.59	85
	m=6,5	1:2,90:0,00:3,60	0.75	80
10%	m=3,5	1:1,21:0,09:2,16	0.45	80
	m=5,0	1:1,91:0,15:2,88	0.59	85
	m=6,5	1:2,61:0,20:3,60	0.75	85
25%	m=3,5	1:1,01:0,23:2,16	0.47	80
	m=5,0	1:1,59:0,37:2,88	0.64	90
	m=6,5	1:2,18:0,50:3,60	0.80	90
50%	m=3,5	1:0,67:0,47:2,16	0.54	85
	m=5,0	1:1,06:0,74:2,88	0.72	75
	m=6,5	1:1,45:1,01:3,60	0.94	80

*Cinza pesada

Tabela 02 – Características da dosagem dos concretos com cimento ARI.

Substituição (%)	Traço (m)	Traço Final (em massa) (cimento: areia: CZP*:Brita)	Relação a/c	Slump (cm)
0%	m=3,5	1:1,34:0,00:2,16	0.48	90
	m=5,0	1:2,12:0,00:2,88	0.62	85
	m=6,5	1:2,90:0,00:3,60	0.78	95
10%	m=3,5	1:1,21:0,09:2,16	0.49	80
	m=5,0	1:1,91:0,15:2,88	0.62	90
	m=6,5	1:2,61:0,20:3,60	0.77	75
25%	m=3,5	1:1,00:0,23:2,16	0.51	85
	m=5,0	1:1,59:0,37:2,88	0.68	80
	m=6,5	1:2,18:0,50:3,60	0.82	85
50%	m=3,5	1:0,67:0,47:2,16	0.56	75
	m=5,0	1:1,06:0,74:2,88	0.73	85
	m=6,5	1:1,45:1,01:3,60	0.96	85

*Cinza pesada

Nota-se que a medida em que aumenta-se o teor de substituição da areia pela cinza pesada, há um acréscimo no consumo de água. Isto pode ser explicado pelo fato da granulometria da cinza pesada ser bem mais fina em comparação a areia empregada nas misturas.

Para o consumo de cimento, quanto maior o teor de substituição da areia pela cinza pesada, há uma pequena queda no consumo de cimento como mostrado nas tabelas 01 e 02.

Outro fator que contribuiu para o aumento da relação a/c é a alta absorção de água das cinzas pesadas devido a suas características físicas. Neste material existe a presença de partículas de formato irregular e significativa quantidade de partículas ocas como cenosferas e plerosferas CHERIAF *et al* (1999).

Na hora da moldagem, notou-se maior coesão dos concretos com adição de cinza pesada em relação ao concreto de referência, isto pode ser explicado pela característica granulométrica dos materiais cinza pesada e areia, onde a cinza pesada apresenta módulo de finura muito menor que o da areia.

5.2. Perda de Abatimento

Este ensaio foi realizado para avaliar a influência da cinza pesada na perda de trabalhabilidade dos concretos com cinza pesada, tendo em vista os altos teores de absorção deste material, em torno de 44%.

A Figura 01 mostra a evolução da porcentagem do abatimento inicial verificada até 90 minutos após o início da mistura.

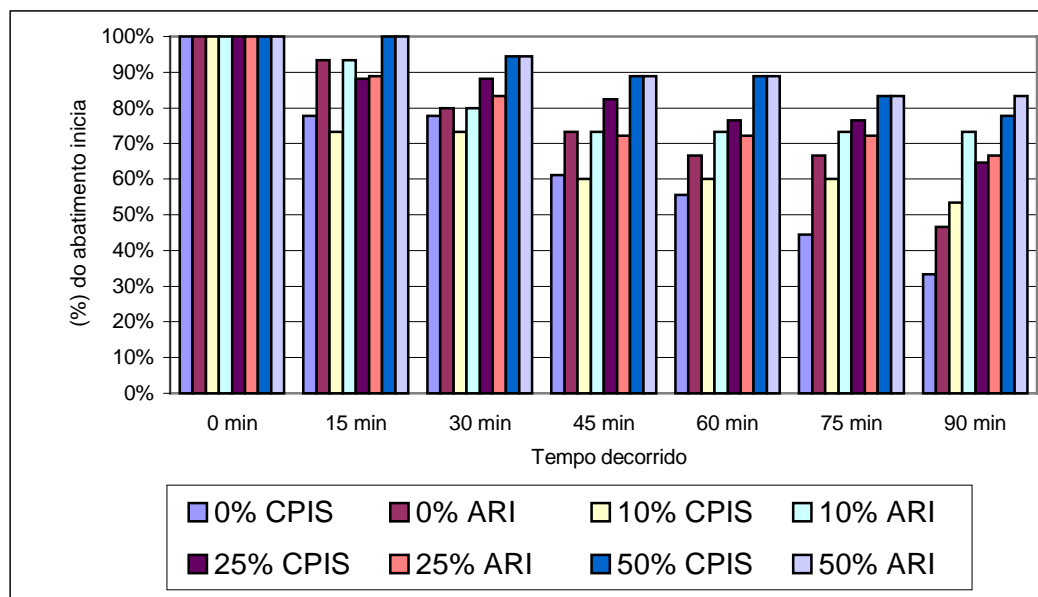


Figura 01 – Evolução de perda de abatimento.

Analisando a Figura 01, percebe-se que ocorreu uma perda de abatimento mais acentuada nos concretos de referência. Isto pode ser explicado pela maior quantidade de água necessária para os concretos quando há o aumento no teor de substituição da areia pela cinza pesada, ou seja, embora a cinza pesada apresente alto teor de absorção de água, este fator não prejudicou na perda de abatimento do concreto, pelo contrário, quanto maior o teor de substituição menor a perda de abatimento.

5.3. Resistência à Compressão

Mesmo apresentando relação a/c maiores, de modo geral observa-se resistências à compressão similares ou até maiores para os concretos com incorporação de cinza pesada em relação aos concretos de referência, conforme mostrado nas Figuras 02 e 03.

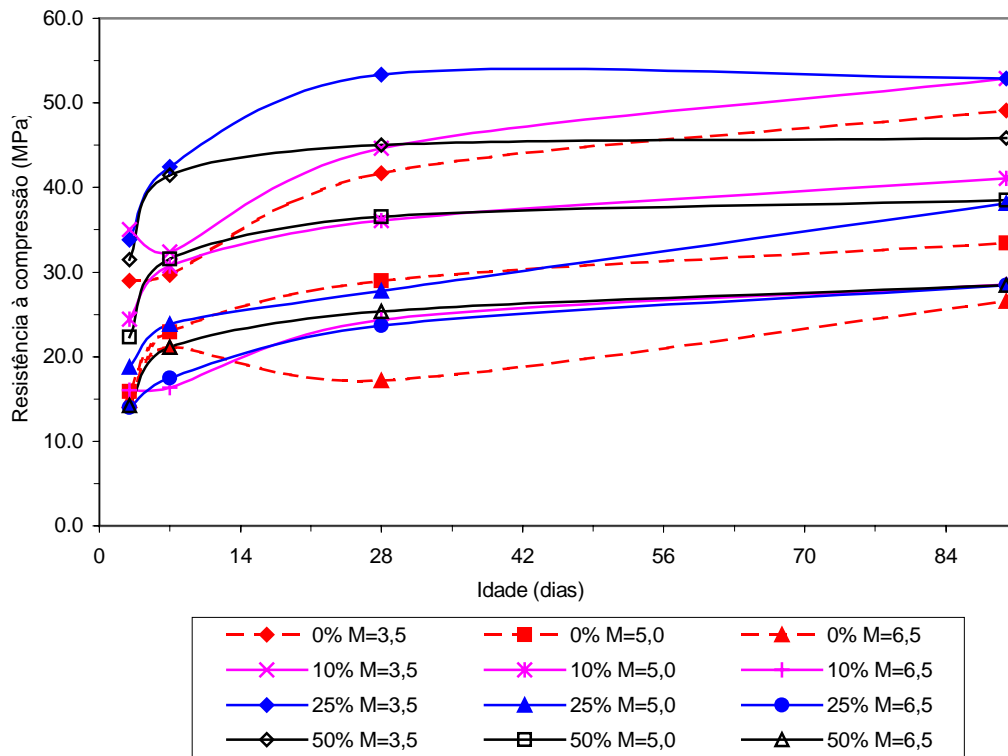


Figura 02 – Evolução da resistência à compressão empregando cimento CPI-S.

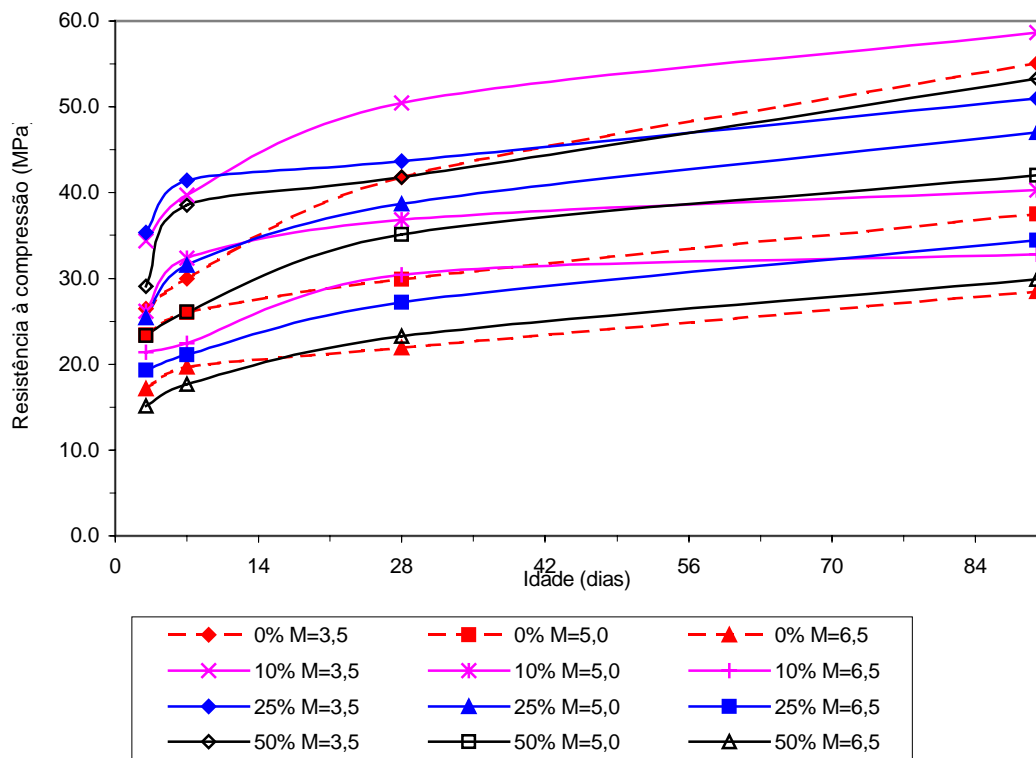


Figura 03 – Evolução da resistência à compressão empregando cimento ARI.

Observa-se pelas Figuras 02 e 03 que nas idades de 3 e 7 dias a maioria dos concretos contendo cinza pesada alcançaram resistências à compressão maiores que em relação aos de referência. Este aumento de resistência nas primeiras idades pode ser explicado pelo efeito filler, ou seja, há um melhor empacotamento entre as partículas nestes concretos. Para a idade de 28 dias, os concretos contendo cinza pesada tiveram resistências similares ou maiores em relação aos concretos de referência.

Nos concretos utilizando cinza pesada não foram notados, até a idade estudada de 90 dias, aumentos significativos na resistência a compressão em relação ao concreto de referência devido à reação pozolânica. Esta reação normalmente ocorre em concretos nas idades acima de 28 dias.

5.4. Consumo de Cimento

Foi calculado o consumo de cimento necessário para a produção de 1 m³ de cada concreto. O gráfico que relaciona o consumo de cimento com a resistência a compressão dos diferentes concretos está apresentado na Figura 04.

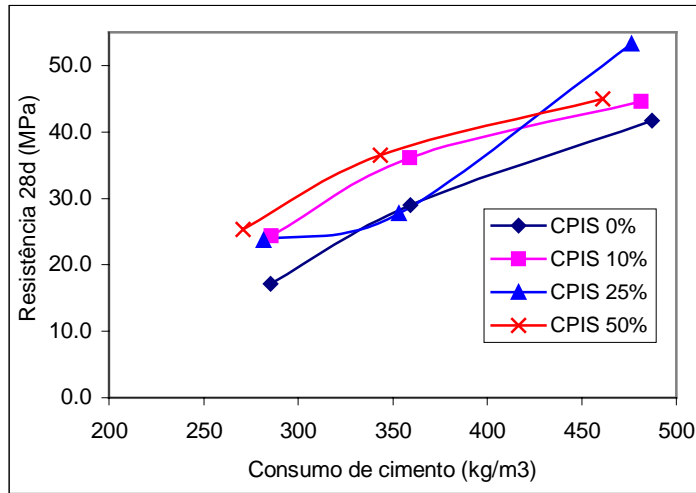


Figura 04 – Resistência à compressão em relação ao consumo de cimento CPIS para os diferentes concretos na idade de 28 dias.

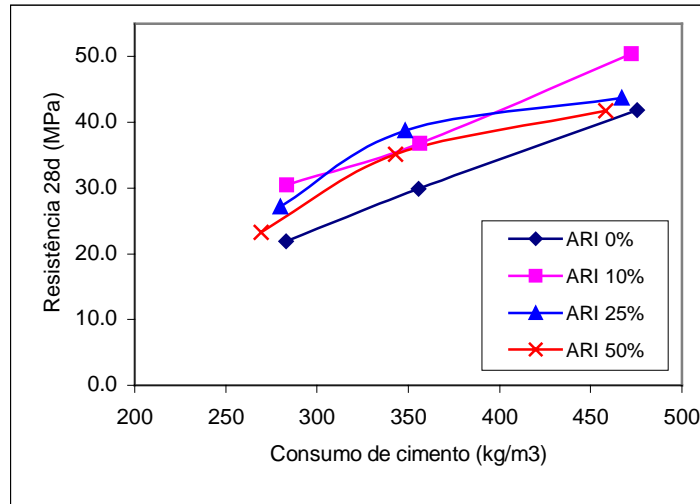


Figura 05 – Resistência à compressão em relação ao consumo de cimento ARI para os diferentes concretos na idade de 28 dias.

Observa-se nitidamente pelas Figuras 04 e 05, que os concretos com adição de cinza pesada e com o mesmo consumo de cimento produzem concretos mais resistentes à compressão que os de referência, analisando-se aos 28 dias.

5.5. Ensaio de Absorção por Capilaridade

A norma NBR 9779/87 define absorção de água por capilaridade de argamassa ou de concreto endurecido pela expressão:

$$C = \frac{(A - B)}{S}$$

Onde:

C=absorção de água por capilaridade;

A=massa do corpo de prova que fica em contato com a água durante um determinado período;

B=massa do corpo de prova seco em estufa ventilada, à temperatura de $(40\pm 5)^{\circ}\text{C}$;

S=área da seção transversal da superfície em contato com a água (área da seção molhada).

Foram submetidos ao ensaio de absorção de água por capilaridade aos 90 dias, concretos com traço $m=5,0$. Os resultados estão apresentados na Figura 06.

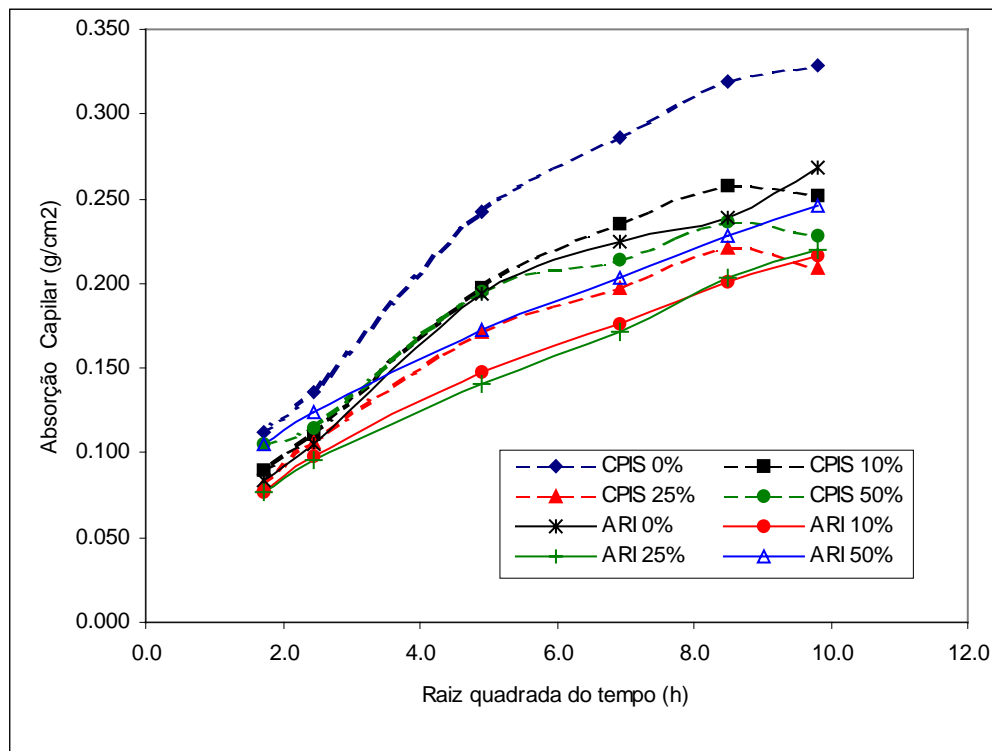


Figura 06 – Absorção de água por capilaridade nos concretos aos 90 dias de idade.

Os resultados são apresentados como a absorção acumulada da água em relação à raiz quadrada do tempo. Nota-se que nos concretos de referência tiveram absorções capilares maiores que nos concretos com adição de cinza pesada.

6. CONCLUSÕES

As conclusões a seguir referem-se aos concretos confeccionados com substituição de parte da areia pela cinza pesada:

1 – o consumo de água, para o mesmo abatimento, é maior em relação ao concreto de referência, sendo que quanto maior o teor de substituição, maior a quantidade de água;

2 – a perda de abatimento no decorrer do tempo foi menor para concretos com maiores teores de substituição;

3 – as resistências à compressão dos concretos com incorporação de cinza pesada foram similares e até maiores em relação aos concretos de referência;

4 – o consumo de cimento por metro cúbico é menor para a mesma resistência à compressão;

5 – a absorção de água por capilaridade foi menor para os concretos contendo cinza pesada, do que para os concretos de referência.

Pelos resultados demonstrados na pesquisa, conclui-se que a cinza pesada possui um grande potencial como matéria prima para a produção de concretos. Isto é devido ao benéfico aumento na resistência a compressão dos concretos produzidos com este material.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHERIAF, M.; ROCHA, J. Cavalcante; PÉRA, J.; **Pozzolanic proprieties of coal combustion bottom ash**, Cement and Concrete Research 29 (1999) 1387-1391.

POZZOBON, C. E.; **Aplicações tecnológicas para a cinza do carvão mineral produzida no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda**. Dissertação de mestrado do Curso de Pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, Brasil, 1999.

RAVINA, D.; **Mechanical properties of concrete incorporating a high volume of class F fly ash as partial fine sand replacement**. Materials and Structures/Matériaux et Constructions, Vol.31, Mars 1998, pp 84-90.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M; POZZOBON, C. E.; MAIA, M. S.; MAGRI, L.; XAVIER S. M. T.; **Reaproveitamento das cinzas pesadas do Complexo Jorge Lacerda na elaboração de materiais de construção: aspectos técnicos e ambientais**. XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Foz do Iguaçu-PR, Brasil, 1999.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**ESTUDO DE VIABILIDADE SOBRE A SUBSTITUIÇÃO DE
AGREGADOS NATURAIS POR AGREGADOS PROVENIENTES
DA RECICLAGEM DE ENTULHO DE CONCRETO**

FONSECA SILVA, Eugênia (1); **LIPARIZI**, Fabrício Bacelar. (2);
VASCONCELOS, André Rogério (3)

- (1) Eng. Civil, Mestre em Estruturas e Construção Civil, professora da UnB. Dep^{to} de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Campus Universitário, asa norte 70.910-900 Brasília-DF. Fone: (61) 307-2301 Fax: (61) 273-4644. E-mail: eugenia@unb.br
- (2) Eng^o Civil, Secretaria de Receita Federal –Ministério da Fazenda. SHIS QI 17 conjunto 6 casa 17 lago sul Brasília-DF. fabriciobacelar@bol.com.br
- (3) Eng^o Civil, perito em estruturas, Departamento de polícia civil especializada do DF. SQN 310 bloco J apt^o 102 Brasília-DF. andrevasconcelos@persocom.com.br

Palavras-chave: reciclagem de entulho, substituição de agregados; concreto reciclado

RESUMO

Nos últimos anos percebe-se uma preocupação da sociedade com a preservação do meio ambiente e conseqüentemente com o crescente acúmulo de resíduos e dejetos de diferentes origens. Dentre estes resíduos, o entulho proveniente da construção civil tem importância relevante, dado ao volume que representa. Dentro dessa ótica, a proposta do desenvolvimento sustentável, preservando os recursos naturais, evitando sua exploração irracional e procedendo-se à reciclagem de materiais e resíduos, não pode deixar de abranger o entulho da construção civil.

Este trabalho apresenta uma contribuição ao estudo do desenvolvimento sustentável, mostrando que, para a fabricação de concretos, a substituição total ou parcial de agregados naturais (miúdo e gráudo) por agregados provenientes de entulho de concreto reciclado, constitui uma alternativa política e ecologicamente correta, além de economicamente viável.

1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A CONSTRUÇÃO CIVIL

O entulho da construção civil, entendido como o conjunto de fragmentos ou sobras de blocos cerâmicos, concreto, argamassa, aço ou madeira provenientes do desperdício de materiais na construção, reforma ou demolição de obras de engenharia, representa uma parcela considerável dos resíduos produzidos pela sociedade moderna, contribuindo muito para escassez, cada vez maior, de espaços apropriados para seu acondicionamento.

Os aterros de resíduos de obra, destinação final para os resíduos da construção, não constituem a melhor solução para o problema do entulho, pois ocupam grandes áreas e estão sujeitos ao esgotamento, tendo sempre que se procurar novos lugares para a deposição. Além disso, costumam causar problemas de saúde pública quando ocorrem próximo a regiões habitacionais. A melhor solução para o entulho, ou qualquer outro resíduo, é o uso racional dos recursos naturais e a reciclagem. No caso específico do entulho de obras, este deve ser tratado como material reciclável de relevante valor, no que se refere ao aproveitamento econômico e sustentável do material e como redutor dos impactos ambientais causados pela extração mineral ou pela deposição ilegal em áreas de interesse ambiental.

De acordo com JOHN (1999), a cadeia da construção civil é o setor da economia que mais consome materiais naturais, consumindo cerca de 15 a 50% do total de recursos naturais extraídos, tendo, portanto um grande potencial reciclador. A primeira e a mais visível das contribuições ambientais da reciclagem é a preservação de recursos naturais, que é conseguida pela substituição por resíduos reciclados. Outra grande vantagem obtida com a reciclagem é a redução do volume de aterros sanitários, que além de ocuparem grandes espaços, concentram resíduos químicos que, quando em níveis elevados, tornam-se perigosos, podendo contaminar o lençol freático ou gerar outros impactos ambientais.

Nem todos os resíduos da construção civil são passíveis de reciclagem e nem todos apresentam quantidade significativa quando comparada a outras indústrias. No entanto, alguns destes materiais são fáceis de serem identificados como grandes vítimas de desperdício na construção civil. De acordo com Pinto; Lima (1997), os materiais mais desperdiçados na construção civil brasileira são os diversos tipos de madeiras (principalmente chapas), o aço, os elementos de vedação e a argamassa e seus componentes.

Diferentemente do Brasil, em diversos países desenvolvidos são instituídas políticas de valorização dos produtos e serviços ditos “ambientalmente preferíveis”, definidos como aqueles que possuem menor efeito nocivo ao ambiente ou a saúde, quando comparados com seus competidores durante todo seu ciclo de vida (CLINTON, 1993).

Apesar das dificuldades, diversas pesquisas já foram conduzidas no Brasil a respeito da reciclagem de resíduos da construção civil. Em muitos casos elas conduzem a resultados impressionantes e satisfatórios em que o produto composto por partes ou até totalidade de material reciclado apresenta desempenho semelhante aos seus similares convencionais.

Dentre as possibilidades de utilização para o entulho de construção civil selecionado, reciclado e classificado no Brasil, BRITO FILHO (1999) destaca: 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; Argamassa para revestimento; (LEYSER; SURIANE, 1999)

2. UMA ALTERNATIVA: O CONCRETO RECICLADO

BRITO FILHO (1999) aponta que, apesar dos ótimos resultados que vêm sendo obtidos, o concreto produzido com entulho reciclado não deve ser utilizado em obras que exijam grandes esforços em virtude da heterogeneidade que o material reciclado apresenta. Porém sabe-se que esta heterogeneidade pode ser reduzida sem grandes dificuldades, com a utilização de um entulho proveniente de uma mesma fonte e pela análise granulométrica dos agregados obtidos com a reciclagem.

ZORDAN; PAULON (1997) concluíram que a resistência à compressão aos 28 dias, obtida nos concretos com entulho, representou 49%, 62% e 93% da resistência do concreto usual para os traços de 1:3 , 1:5 e 1:7 respectivamente. Este resultado permitiu indicar o traço pobre (1:7) como bastante satisfatório para execução de obras não estruturais, tais como obras de infra-estrutura urbana (guias, sarjetas, poços de visita).

MEHTA; MONTEIRO (1994), descartam a utilização de agregados miúdos reciclados em concreto. Segundo eles, o entulho de concreto possui fragmentos nos quais o agregado está contaminado por pasta endurecida de cimento, gipsita e outras substâncias em menor quantidade. A mesma opinião é dividida pelos holandeses, que proíbem por norma a utilização de agregados miúdos provenientes da reciclagem do entulho de construção, alegando a ação cancerígena do pó deste material quando inalado. No entanto destacam que o concreto constituído de agregados graúdos reciclados tem obtido resultados muito satisfatórios quanto à resistência à compressão, alcançando valores da ordem de 2/3 da resistência do concreto tradicional. Um obstáculo levantado é quanto ao emprego esta técnica diz respeito ao custo da britagem, graduação, controle do pó e separação dos constituintes indesejáveis.

Nos estudos desenvolvidos por COSTA SILVA; CANÊDO (1999), o concreto estudado era composto por agregados miúdos reciclados com distribuição granulométrica equivalente à da areia lavada de rio utilizada no traço de referência. Em sua pesquisa as autoras concluíram que o concreto reciclado com 100% de substituição do agregado miúdo obteve resistências de 77%, 90% e 93% da resistência do concreto de referência para os traços 1:3,5 (rico), 1:5 (piloto), 1:6,5 (pobre) respectivamente. E com a substituição de 50% da areia natural por areia reciclada, os resultados de resistência foram da ordem de 90% dos obtidos no traço com agregados naturais.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1. Entulho Reciclado

O entulho utilizado nesta pesquisa era constituído basicamente de concreto proveniente da demolição de meio-fios, sendo observada a presença, em pequena quantidade, de argamassa e materiais cerâmicos. O material foi previamente britado num britador de mandíbulas e posteriormente peneirado, empregando-se um peneirador mecânico, para classifica-lo em agregado miúdo e graúdo.

3.2. Materiais Utilizados e Ensaios Realizados

- ⇒ cimento Portland CP II F-32, marca Tocantins, com ensaios físicos de recebimento e de resistência à compressão atendendo os limites especificados para sua designação;
- ⇒ areia lavada média do rio Corumbá, módulo de finura 2,90 e índices granulométricos atendendo os limites da zona 3 da NBR 7211;
- ⇒ areia lavada fina do rio Corumbá, módulo de finura 1,82 e índices granulométricos atendendo os limites da zona 1 da NBR 7211;
- ⇒ areia proveniente da reciclagem de entulho, módulo de finura 3,01 e índices granulométricos atendendo os limites da zona 3 da NBR 7211;
- ⇒ brita 1 de origem calcária, módulo de finura 6,98 e índices granulométricos atendendo os limites da graduação 1 da NBR 7211;
- ⇒ brita 1 proveniente da reciclagem de entulho, módulo de finura 6,39 e índices granulométricos não atendendo a nenhuma das graduações da NBR 7211;

3.3. Metodologia

Foram fabricados sete tipos de concreto em função dos agregados empregados e porcentagem de substituição usada (Tabela 3.1). Para cada tipo de concreto foram produzidos três traços (rico, piloto e pobre), com relação 1:m (cimento: relação agregados secos/ cimento, em massa) iguais a 1:3,5 (rico), 1:5 (piloto) e 1:6,5 (pobre) respectivamente. O método de dosagem empregado está descrito em Helene e Terzian (1993).

Tabela 3.1- Concretos fabricados e nomenclatura adotada em função da substituição do(s) agregado(s) natural (is) por reciclados.

Concreto		Agregados utilizados				
Abreviação	Alteração	Areia lavada média	Areia lavada fina	Areia reciclada	Brita 1 calcária	Brita reciclada
Referência	-	100%	-	-	100%	-
50% Brita	Substituição parcial da brita	100%	-	-	50%	50%
100% Brita	Substituição total da brita	100%	-	-	-	100%
50% Areia	Substituição parcial da areia	50%	-	50%	100%	-
100% Areia	Substituição total da areia	-	-	100%	100%	-
50/50 Areia Média	Subst. parcial da brita e da areia	50%	-	50%	50%	50%
50/50 Areia Fina	Subst. parcial da brita e da areia	-	50%	50%	50%	50%

Nota: A substituição total e simultânea de areia e britas naturais por reciclados foi descartada porque já no concreto com substituição parcial da areia (50%) e da brita (50%), utilizando areia lavada média, a textura do concreto se apresentou bastante áspera. Optou-se pela substituição parcial dos agregados (50/50), usando areia natural fina, para melhorar esta propriedade da trabalhabilidade.

Na avaliação dos traços de concretos desenvolvidos foram usadas as seguintes propriedades do concreto como parâmetros: Concreto Fresco: consistência; que foi definida em 6 ± 1 cm e foi obtida pelo ensaio de abatimento do tronco de cone e; Concreto Endurecido: resistência à compressão axial aos 7 e 28 dias; obtida pela ruptura à compressão simples de corpos de prova cilíndricos com 100mm x 200mm.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A avaliação dos resultados foi feita separando-se em traços piloto, rico e pobre em virtude de cada um deles representar um nível de resistência distinto. Todos os traços foram fabricados com mesmo intervalo de abatimento, fixado em 6 ± 1 cm. Nos traços piloto a relação 1:m (cimento: soma de agregados secos, em massa) foi mantida constante em 1:5. Da mesma forma, nos traços ricos esta relação foi de 1:3,5 e nos traços pobre 1:6,5. Portanto o consumo de cimento e a relação água/cimento não estavam fixados. A porcentagem de argamassa seca (cimento+areia/cimento+areia+brita) obtida experimentalmente foi 54%, exceto nos traços com substituição simultânea de agregado miúdo e graúdo cujo valor elevou-se para 57.

4.1. Traços Pilotos

A Fig. 4.1 apresenta os valores médios de resistência à compressão dos diversos traços pilotos (1:5), fabricados com diferentes tipos de substituição, sendo comparados com o concreto piloto de referência. Na Fig. 4.1, os números mostrados acima das barras são os resultados médios de resistência aos 28 dias e os valores entre parênteses representam a porcentagem em relação ao traço de referência.

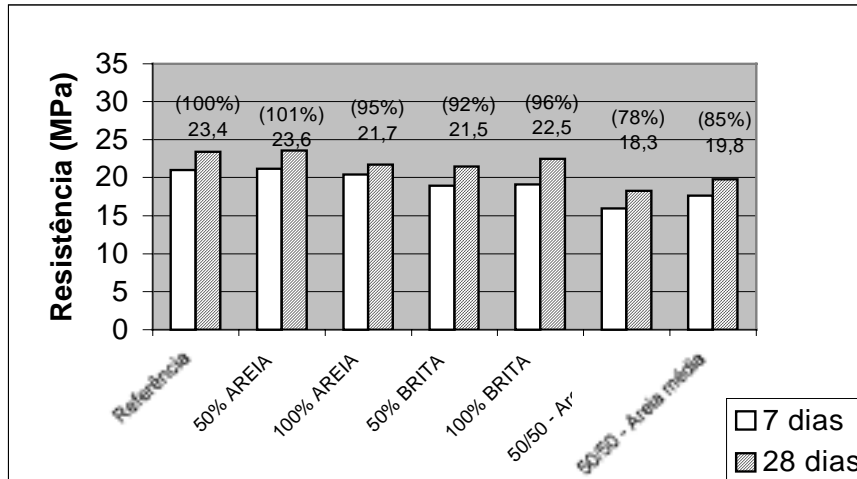


Figura 4.1 – Comparativo das resistências dos traços pilotos aos 7 e 28 dias.

A resistência à compressão, aos 28 dias, do traço de referência foi de 23,4 MPa. Na mesma idade obteve-se resistências variando de 18,3 MPa a 23,6 MPa, para os demais concretos estudados.

Tanto nos traços com substituição somente da areia (50% e 100%) como nos traços com somente substituição da brita (50% e 100%), os resultados de resistência estão muito próximos aos do traço de referência, com variações percentuais das resistências inferiores a 10%, o que viabiliza o uso dos agregados reciclados na fabricação de concretos. Os valores obtidos aos 28 dias de idade correspondem a concretos com f_{ck} de 15 MPa e desvio padrão de 4 MPa.

Comparando os resultados obtidos na substituição parcial (50%) da areia ou da brita com os encontrados na substituição total (100%), observa-se que os valores estão muito próximos, sendo, portanto mais vantajosa a substituição total.

Já os concretos com substituição de ambos os agregados (50/50 - areia fina e 50/50 - areia média), apresentaram resistências da ordem de 20% menores que as do traço de referência, embora os respectivos consumos de cimento tenham sido 9% e 8%, respectivamente, inferiores ao do traço de referência.

O consumo de cimento do traço de referência foi de 365 Kg/m³ sendo superior ao de todos os outros traços (Fig. 4.2). Para os demais concretos, o consumo de cimento variou de 330 Kg/m³ a 353 Kg/m³, sendo a maior diferença percentual de 9,5% entre todos os concretos, representando 35,0 Kg/m³. Isso significa que, para consumos semelhantes, os concretos com agregados reciclados apresentariam resultados de resistência à compressão possivelmente um pouco maiores que os mostrados na Fig. 4.2.

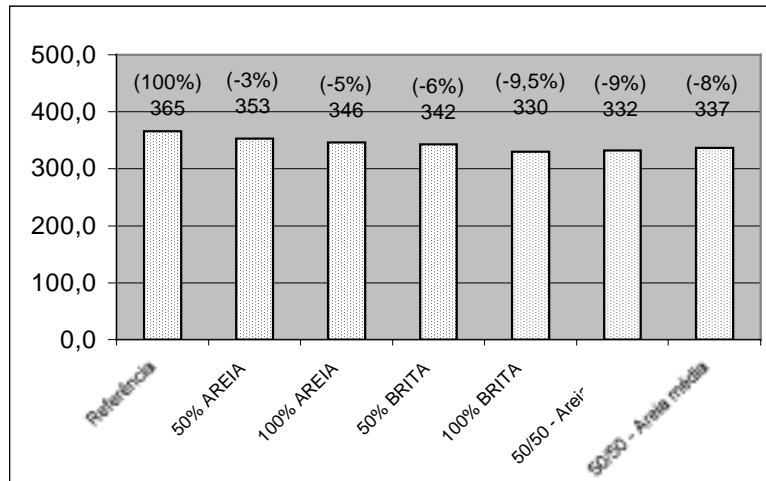


Figura 4.2 – Comparativo dos consumos de cimento dos traços piloto.

A Fig. 4.3 ilustra o gráfico comparativo das relações água/cimento de cada um dos concretos estudados para os traços Pilotos.

A relação água cimento variou de 0,52, para o traço de referência, até 0,62 para os traços 50/50 areia fina e 50/50 areia média. Os resultados de a/c obtidos para os concretos com agregados reciclados seriam pouco menores se tivesse sido considerado consumos de cimento iguais ao do traço de referência. Porém, mesmo o valor mais elevado (0,62) ainda pode ser considerado satisfatório para uso em concretos com f_{ck} de 13,5 MPa (considerando desvio padrão de 4 MPa), apresentando aos 28 dias valores médios de 20 MPa.

As relações água/cimento dos concretos com substituição dos agregados mostraram-se superiores à relação a/c do concreto de referência. Pode-se explicar este fato pela diferença na forma e textura superficial dos agregados naturais e os agregados reciclados, requerendo um maior teor de água para atingir um mesmo abatimento.

Os concretos com substituição somente da areia (50% e 100%) e substituição somente da brita (50% e 100%) apresentaram relação água/cimento próxima, coerente com os resultados próximos de resistência à compressão mostrados na Fig. 4.1.

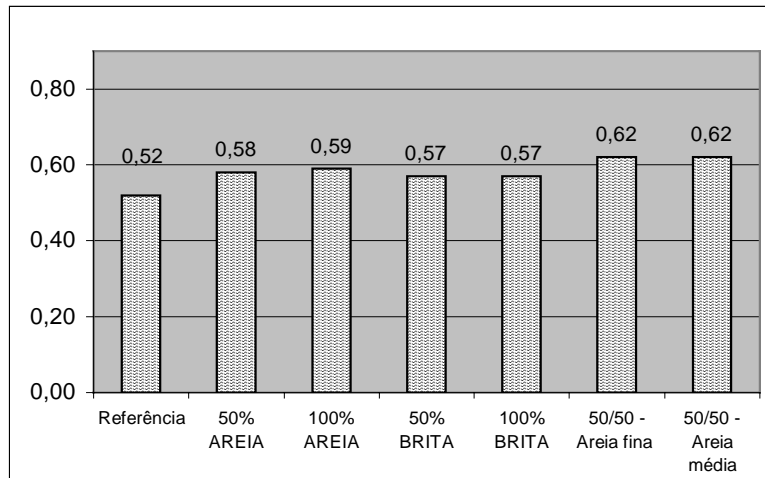


Figura 4.3 – Comparativo das relações água/cimento dos traços piloto.

Apesar da consistência adotada ser a mesma para todos os concretos, verificou-se que nos traços 100% areia e 50/50 areia média apresentaram-se um pouco mais ásperos e menos coesos, porém com trabalhabilidade satisfatória.

4.2 - Traços Ricos

A Fig. 4.4 apresenta os valores médios de resistência à compressão dos diversos traços ricos (1:3,5), fabricados com diferentes tipos de substituição, sendo comparados com o concreto de referência. Na Fig. 4.4, os números mostrados acima das barras são os valores médios de resistência aos 28 dias e os valores entre parênteses representam a porcentagem em relação ao traço de referência.

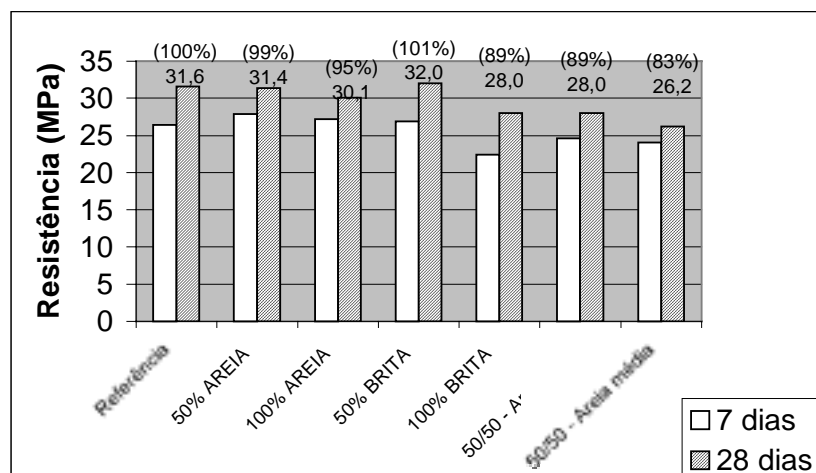


Figura 4.4 – Comparativo das resistências dos traços ricos aos 7 e 28 dias.

A resistência à compressão, aos 28 dias, do traço de referência foi de 31,6 MPa. Na mesma idade obteve-se resistências variando de 26,2 MPa a 32,0 MPa para os demais concretos estudados. Os valores obtidos nos traços ricos são satisfatórios para produção de concreto estrutural com f_{ck} entre 20 a 25 MPa, com desvio padrão de 4 MPa.

Assim como ocorreu nos traços piloto, os concretos 50% areia, 100% areia e 50% brita apresentaram resistências médias bastante próximas às do concreto de referência e consumos de cimento próximos ao do traço de referência (Fig. 4,5). Estes traços correspondem a concretos com f_{ck} de 25 MPa, amplamente utilizados no Brasil. Quanto ao concreto com 100% brita, houve uma redução na resistência à compressão da ordem de 10% em relação ao traço de referência, porém deve ser notado que o consumo de cimento deste traço foi 11% inferior ao do traço de referência, correspondendo a cerca de 1 saco a menos de cimento por metro cúbico.

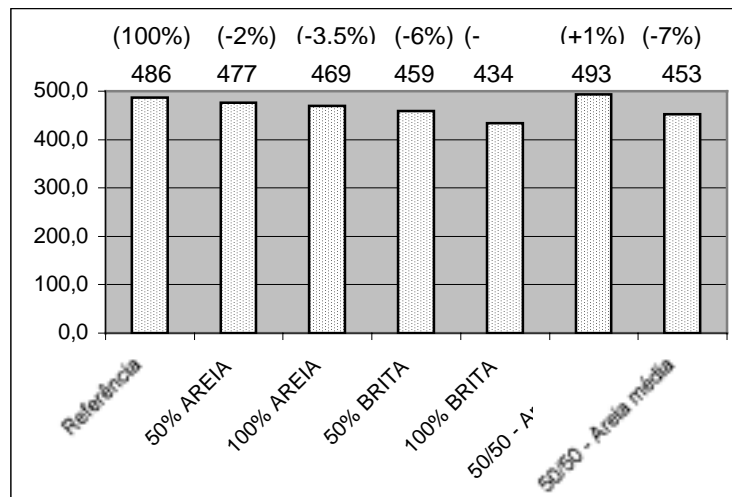


Figura 4.5 – Comparativo do consumo de cimento dos traços rico.

No concreto 50/50 – areia fina, apesar do consumo ser muito próximo ao do traço de referência (item 4.2.2), houve uma redução de 11% na resistência à compressão. Semelhante ao ocorrido no traço piloto, a substituição 50/50–areia média apresentou redução na resistência de cerca de 15%. Mas ainda assim, estes traços com substituição simultânea correspondem a concretos com resistência característica (f_{ck}) de 20 MPa, atendendo uma parcela dos concretos estruturais utilizados no Brasil.

O consumo de cimento do traço de referência foi de 386 Kg/m³. Para os demais concretos, o consumo de cimento variou de 434 Kg/m³ a 493 Kg/m³, sendo a maior diferença percentual de 11% entre todos os concretos, representando 50,0 Kg/m³ (Fig. 4.5).

A Fig. 4.6 ilustra o gráfico comparativo das relações água/cimento de cada um dos concretos estudados para os traços ricos.

A relação água cimento variou de 0,41, para o traço de referência, até 0,46 para os traços 50/50 areia fina e 50/50 areia média. Os baixos valores de a/c correspondem a concretos com microestrutura provavelmente mais densa e, portanto menos suscetível ao ataque de agentes agressivos ao concreto.

Como ocorreu nos traços piloto, também nos traços ricos, os concretos com substituição dos agregados naturais por reciclados apresentaram relação água cimento superiores ao do traço de referência. Pode-se explicar este fato pela diferença na forma e textura superficial dos agregados naturais e os agregados

reciclados, requerendo um maior teor de água para atingir um mesmo abatimento.

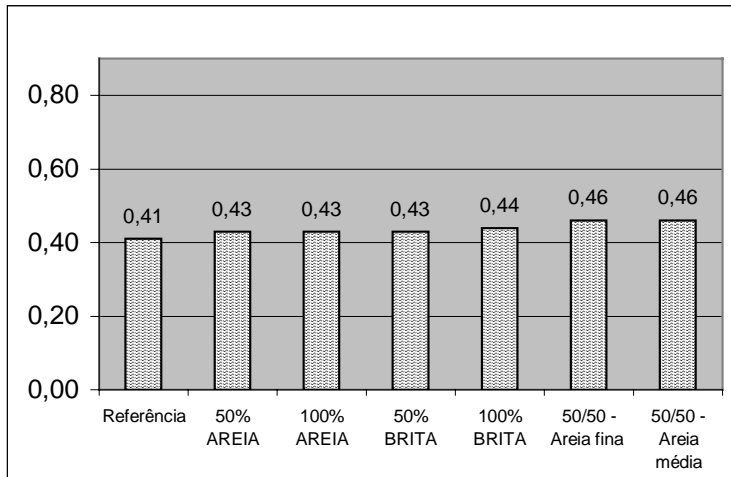


Figura 4.6 – Comparativo das relações água/cimento dos traços ricos.

Apesar da consistência adotada ser a mesma para todos os concretos, verificou-se que nos traços 100% areia e 50/50 areia média apresentaram-se um pouco mais ásperos e menos coesos, porém com trabalhabilidade satisfatória.

4.3. Traços Pobres

A Fig. 4.7 apresenta os valores médios de resistência à compressão dos diversos traços pobres (1:6,5), fabricados com diferentes tipos de substituição, sendo comparados com o concreto pobre de referência. Na Fig. 4.7, os números mostrados acima das barras são os resultados médios aos 28 dias e os valores entre parênteses representam a porcentagem em relação ao traço de referência.

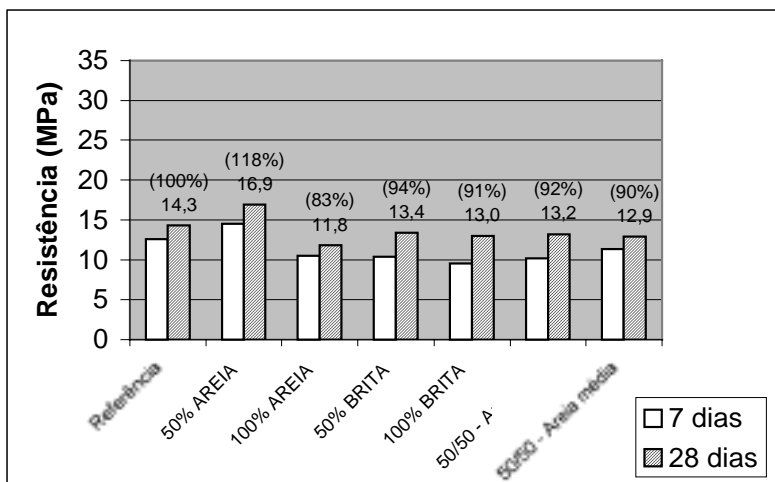


Figura 4.7 – Comparativo das resistências dos traços pobres aos 7 e 28 dias.

A resistência à compressão, aos 28 dias, do traço de referência foi de 14,3 MPa. Na mesma idade obtivemos resistências variando de 11,1 MPa a 16,9 MPa para os demais concretos estudados.

Os valores baixos de resistência à compressão obtidos nos traços pobres, associados à elevada relação água/cimento inviabilizam seu uso para produção de concretos estruturais.

Diferente do encontrado para os traços piloto e rico, os concretos pobres estudados apresentaram resistências médias bastante próximas às do concreto de referência, excetuando-se os concretos com substituição somente da areia (50% e 100%). Estes precisam ser mais bem investigados para uma análise mais precisa.

Os concretos 50% brita e 100% brita apresentaram resistências próximas ao do de referência, com variação entre eles muito pequena, como ocorreu nos traços piloto e rico.

Também mostraram bom desempenho os concretos com substituição parcial dos dois agregados, ambos com resistência da ordem de 90% do concreto de referência, sendo que o concreto 50/50 – areia fina apresenta melhor trabalhabilidade e aparência que o traço 50/50 areia média.

O consumo de cimento do traço de referência foi de 285 Kg/m³, sendo superior ao de todos os outros traços (Fig.4.8). Para os demais concretos, o consumo de cimento variou de 256 Kg/m³ a 282 Kg/m³, sendo a maior diferença percentual de 10% entre todos os concretos, representando 29 Kg/m³.

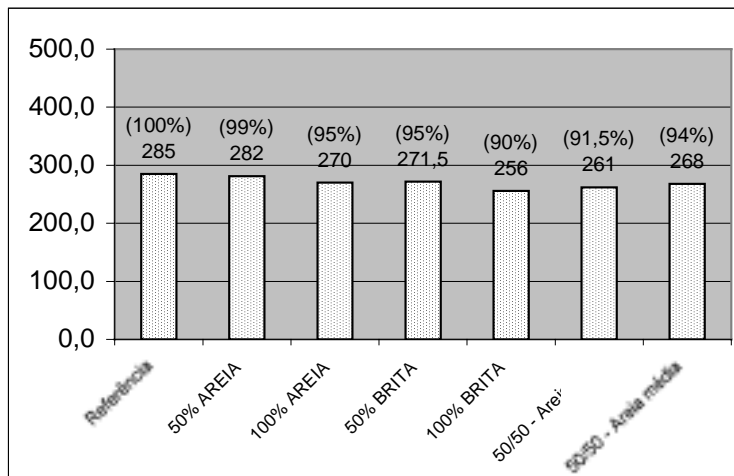


Figura 4.8 – Comparativo do consumo de cimento dos traços pobres.

A Fig. 4.9 ilustra o gráfico comparativo das relações água/cimento de cada um dos concretos estudados para os traços ricos. A relação água/cimento variou de 0,72, para o traço de referência, até 0,81 para o traço 100% areia.

No traço pobre, como nos demais, pode-se observar uma tendência crescente nas relações água/cimento dos concretos à medida que os materiais tradicionais são substituídos por materiais reciclados. Os altos valores obtidos de relação água/cimento (acima de 0,7), que estão diretamente relacionadas à durabilidade do concreto, associados às baixas resistências, inviabiliza a utilização destes concretos para fins estruturais.

A trabalhabilidade do concreto pobre de referência, fabricado com agregados naturais, já apresentou pouca coesão, com tendência à segregação e exsudação. Quando da substituição dos agregados naturais pelos agregados reciclados, observou-se uma piora nesses fatores de heterogeneidade do concreto, sobretudo nos traços em que o agregado miúdo foi substituído, devido à forma dos grãos da areia.

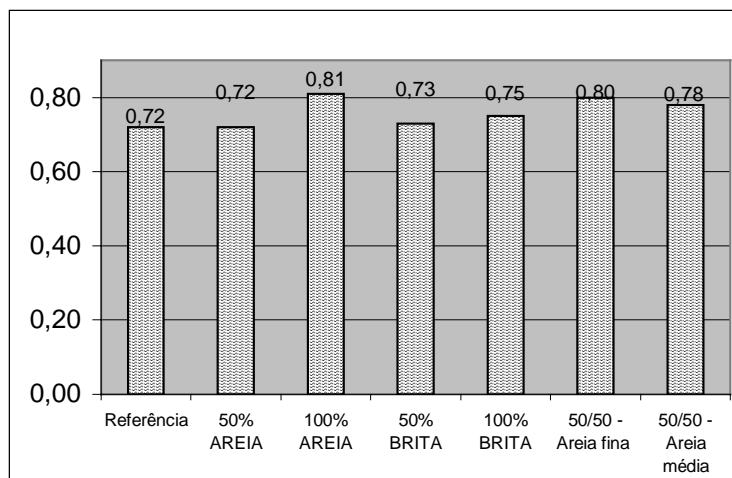


Figura 4.9 – Comparativo das relações água/cimento dos traços pobres.

5. CONCLUSÕES

A substituição de agregados naturais por agregados reciclados para produção de concreto se mostrou bastante viável. Os concretos produzidos com agregados reciclados apresentaram desempenho satisfatório e, em alguns casos, os resultados foram muito próximos aos traços similares fabricados com agregados naturais, consistindo uma opção ambientalmente correta e economicamente viável.

- **Traços piloto e rico:**

Os resultados de resistência à compressão, aos 28 dias de idade, obtidos nos traços piloto e rico (21,5 a 32 MPa) com substituição total e parcial de somente um dos agregados (50% e 100% areia e 50% e 100% brita) foram muito animadores, correspondendo 90 a 100% dos valores obtidos nos traços de referência (fabricados com agregados naturais). Como os resultados encontrados nos traços com substituição parcial (50% areia e 50% brita) apresentaram-se muito próximos dos obtidos com a substituição total, ainda

fica mais vantajosa esta última opção, apesar da textura superficial ficar pouco mais áspera. Os traços com esta substituição correspondem a concretos com f_{ck} entre 15 a 25 MPa (desvio padrão de 4 MPa), podendo ser utilizados, portanto para produção de uma parcela considerável dos concretos fabricados no Brasil.

Os traços com substituição simultânea de agregado miúdo e graúdo, na proporção de 50% e 50% (areia fina e areia média), apresentaram resultados de resistência 15 a 20% inferiores aos dos traços de referência, aos 28 dias (18,3 a 28 MPa). Apesar de se ter obtido resultados melhores em outros proporcionamentos, também constituem uma alternativa viável. Estes traços correspondem a concretos com f_{ck} entre 10 a 20 MPa (desvio padrão de 4 MPa), ainda cobrindo uma quantidade expressiva do concreto utilizado. Cabe salientar que é importante se estudar outras proporções com a substituição simultânea, diferente da estudada (50 e 50%), para investigar a alternativa mais vantajosa.

• Traço pobre

Os valores baixos de resistência à compressão, aos 28 dias, obtidos nos traços pobres (13 a 17 MPa), associados à elevada relação água/cimento (superior a 0,7) e uma textura áspera com tendência à segregação e exsudação, inviabilizam seu uso para produção de concretos estruturais. Porém, viabiliza seu uso para fabricação de concretos destinados à infra-estrutura urbana (guias, sarjetas, poços de visita, meios-fios), como recomendado por Zordon e Paulon (1998).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRITO FILHO, G. A. – “Cidades versus entulhos.”, In: Anais do III Simpósio “Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil”, São Paulo – SP, 1999.
- COSTA SILVA, A. C. N.; CANÊDO, V. S. – “Estudo do concreto constituído por agregado miúdo proveniente da reciclagem do entulho de concreto.” - Projeto Final, Universidade de Brasília, DF, Departamento de Engenharia Civil, 1999.
- HELENE, P.; TERZIAN, P. – “Manual de dosagem e controle do concreto”, 1^a edição, Ed. Pini, São Paulo – SP, 1993.
- JOHN, VANDERLEY M. – “Panorama sobre a reciclagem de resíduos na construção civil”, In: Anais do III Simpósio “Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil”, São Paulo – SP, 1999.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. – “*Concreto : estrutura, propriedades e materiais*.”. Editora Pini Ltda, São Paulo, SP.
- PINTO, T. P.; LIMA, J. A. R.. “*Industrialização de componentes a partir da definição de uma política de reciclagem de resíduos da construção urbana*”. In: Simpósio Ibero-americano sobre técnicas construtivas industrializadas para habitação de interesse social. p. 528 a 537. São Paulo, SP.

- PITTA , M. R.; MARCIANO JÚNIOR, E. – “Construção e reabilitação de pavimentos.”, In: Anais do III Simpósio “Desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construção civil”, São Paulo – SP, 1999.
- ZORDAN, SÉRGIO; PAULON, VLADIMIR. “A *utilização do entulho como agregado para o concreto*”. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Qualidade no Processo Construtivo – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 27 a 30 de abril 1998. p. 899 a 907.

TEMA III
RECICLAGEM DE RESÍDUOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

ASPECTOS PETROGRÁFICOS DE CONCRETOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE ALVENARIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

OLIVEIRA, Mirian C. B.(1); **LEVY**, Salomon M. (2); **HELENE**, Paulo, R. L. (3)

- (1) Geóloga, doutora em Ciências, pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Divisão de Geologia, Digeo-IPT. Caixa Postal 0141- CEP 01064-970. São Paulo, SP. Fone: (0xx11)3767 4367. Fax: (0xx11) 3767 4083. E-mail: miriancr@ipt.br
- (2) Doutorando Pesquisador no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, PCC.USP. Caixa Postal 61548- CEP 05424-970. São Paulo, SP. Diretor do Departamento de Ciências Exatas e Tecnologia do Centro Universitário Nove de Julho- UNINOVE. São Paulo, SP. E-mail: salomon.levy@pcc.usp.br
- (3) Professor Titular da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, PCC.EPUSP. Caixa Postal 61548- CEP 05424-970. São Paulo, SP. E-mail: helene@pcc.usp.br

Palavras-chave: concreto reciclado, reciclagem, petrografia, resíduos de alvenaria

RESUMO

Esse trabalho apresenta e discute os resultados de análises petrográficas executadas em corpos de prova representativos de três famílias de concreto, uma delas com agregados graúdos contendo 50% de agregados naturais e 50% de agregados reciclados de alvenaria e traço 1:6; as outras duas foram moldadas com 100% de agregado graúdo reciclado de alvenaria, com traço 1:4,5 e relação água-cimento 1,06 e 0,82.

O objetivo da petrografia era o de observar, através da utilização do microscópio óptico de luz polarizada, aspectos microestruturais, com ênfase na porosidade e na zona de transição pasta-agregado, efetuando-se comparações qualitativas entre elas, auxiliando na interpretação dos resultados dos ensaios de caracterização físico-mecânica dos mesmos. O estudo petrográfico indicou a presença de vários tipos de vazios, na pasta, no interior dos agregados de cerâmica e na interface pasta/agregado. Na amostra com 50% de agregado graúdo reciclado observa-se melhor aderência entre a pasta

e o agregado reciclado, nas amostras com 100% de agregado reciclado freqüentemente ocorre microfissura exatamente na interface pasta-agregado, por vezes acompanhada por concentração de vazios formados por ar aprisionado, revelando baixa aderência.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho é parte de uma tese de doutorado cujo objetivo é estudar a durabilidade de concretos produzidos com resíduos de alvenaria e de concreto.

A metodologia utilizada para determinação da durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados foi a mesma utilizada no estudo da durabilidade de concretos produzidos com agregados naturais exclusivamente.

Sendo a absorção, assim como o índice de vazios, propriedades indiretamente relacionadas com a facilidade do avanço da frente de carbonatação, julgou-se importante comparar os resultados obtidos para estas grandezas através de dois métodos, um deles análise petrográfica e o outro, ensaios físicos normalizados pela ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas.

A petrografia tem sido utilizada para estudos de patologia do concreto, especialmente para a caracterização dos produtos da reação álcali-agregado. Internacionalmente, também tem sido uma técnica empregada em estudos de conservação de construções antigas, prédios e monumentos.

2. OBJETIVOS

A análise da durabilidade de várias famílias de concreto confeccionados com agregados naturais e reciclados de concreto e de alvenaria (LEVY; HELENE, 2000) revelou diferenças de desempenho dos agregados de alvenaria (maior necessidade de água, menor resistência, maior absorção de água, maior índice de vazios). Essa constatação levou à suposição de que aspectos microestruturais pudessem explicar o desempenho inferior desses concretos, escolhendo-se a análise petrográfica como a técnica mais adequada para essa observação.

3. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS UTILIZADOS

Os agregados graúdos naturais utilizados nessa pesquisa são de rocha granítica, proveniente da Pedreira Cantareira (Mairiporã); o agregado miúdo natural é uma areia de rio, proveniente da região de Jacareí.

Painéis de alvenaria revestida foram construídos e posteriormente demolidos para serem encaminhados ao britador de mandíbulas e assim serem transformados em agregados reciclados de alvenaria, que posteriormente foram utilizados como agregados nas famílias de concreto ensaiadas.

Foram utilizados: painéis de alvenaria construídos com blocos cerâmicos e argamassa industrializada.

Os concretos estudados nesse trabalho apresentam as seguintes características:

- RAG¹ 50/50- traço 1:6 – a/c: 0,89 (amostra148)
- RAG 100- traço: 1:4,5- a/c: 1,06 (amostra105)
- RAG 100- traço: 1:4,5 –a/c: 0,89 (amostra 106)

Tabela 1 - Características dos agregados utilizados na preparação do concreto.

Características das matérias	Unid.	Valores obtidos para os agregados graúdos e miúdos						Metodologia de Ensaio
		Agregados Naturais			Agregados Alvenaria			
		Areia	B1	B2	Areia	B1	B2	
Módulo de finura	*	2,60	6,40	7,70	3,13	0,64	7,65	NBR 7217
Massa específica aparente	Kg/dm ³	1,375	1,430	1,410	1,317	0,984	0,987	NBR 7251
Absorção	%	*	0,8	0,8	7,9	13,0	12,4	NBR 9937
Pulverulentos	%	1,85	0,54	0,55	2,4	4,1	2,3	NBR 7219
Impureza orgânica	Ppm	< 300	*	*	*	*	*	NBR7220

4. MÉTODOS UTILIZADOS

Para os concretos confeccionados com agregados naturais e reciclados de alvenaria foram realizados os seguintes ensaios e análises:

absorção por imersão: realizados de acordo com a norma brasileira NBR 09778, a partir dos valores obtidos, é possível avaliar o índice de vazios de cada concreto ensaiado, possibilitando determinar quem tem maior influência sobre a porosidade do concreto o tipo de agregado ou a quantidade ou a qualidade da pasta consumida.

carbonatação: não foi encontrado um procedimento normalizado pela ABNT para realização deste ensaio, assim, para assegurar repetibilidade ao mesmo, procurou-se fixar uma série de condições laboratoriais, quais sejam: dimensões do corpo de prova (cubos com 10 cm de aresta), idade mínima 182 dias, tempo de permanência na câmara 14 e 28 dias, teor de CO₂ 12%, temperatura da câmara 29 ± 3 °C. Posteriormente, os corpos de prova foram fatiados e

¹ RAG Agregado reciclado de alvenaria graúdo

determinou-se a profundidade de carbonatação com aplicação de uma solução de fenolftaleína.

análise petrográfica –as análises petrográficas foram executadas em lâminas delgadas confeccionadas a partir de 03 corpos-de-prova; a técnica de preparação encontra-se descrita em OLIVEIRA et al., 1999. As lâminas foram estudadas em fotomicroscópio óptico de luz transmitida polarizada, da marca Carl Zeiss, pertencente ao Laboratório de Petrologia e Tecnologia de Rochas do IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

As medidas dos grãos, bem como dos vazios, foram obtidas com o auxílio de objetiva graduada.

A análise petrográfica baseou-se na norma da ASTM C856-95, recomendada para exame de concretos e argamassas endurecidas e seguiu também as sugestões de OLIVEIRA et al. (1999).

5. RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Nas Tabelas 2,3,4 e 5. são apresentados os resultados das análises realizadas

5.1 Resultados dos ensaios de absorção

Tabela 2 - Absorção, índice de vazios e massa específica real dos concretos ensaiados, produzidos com agregados reciclados graúdos de alvenaria.

RAG 50-50%	1:6 a/c= 0,89	
Absorção imersão (%)	11,20	
Índice de vazios(%)	28,54	
Massa esp. real (kg/dm ³)	2,548	
RAG 100-0%	1:4,5 a/c= 0,82	1:4,5 a/c= 1,06
Absorção imersão (%)	11,75	13,81
Índice de vazios(%)	29,11	34,28
Massa esp. real (kg/dm ³)	2.477	2.482

Resultados dos ensaios de carbonatação

Tabela 3 - Profundidade de carbonatação obtida no ensaio acelerado, em função do traço e do agregado graúdo utilizado, aos 14 e 28 dias, com teor de $\text{CO}_2 = 12\%$.

RAG 50-50%	1:6 a/c= 0,89			
	14		28	
Idade dos ensaios (dias)				
Profundidade de carbonatação (mm)	7,6		9,5	
RAG 100%	1:4,5 a/c= 0,82		1:4,5 a/c= 1,06	
	14	28	14	28
Idade dos ensaios (dias)				
Profundidade de carbonatação (mm)	3,0	4,6	6,7	8,8

5.3. Resultados das análises petrográficas

Nas análises efetuadas procurou-se sempre estabelecer comparações entre as amostras.

Em relação ao agregado natural, a zona de transição do agregado reciclado com a pasta apresenta uma aderência mais fraca (Fotomicrografias 2 e 3).

Nas amostras 106 e 148 foram observados aspectos típicos de carbonatação (Fotomicrografias 1 e 4), visíveis ao microscópio óptico pela formação de agregados de cristais micrométricos a submilimétricos de carbonato (calcita ou dolomita), geralmente ao redor de vazios ou nas bordas das lâminas. Na amostra 105 não foi observada carbonatação ao microscópio óptico.

Na amostra 105 observa-se microfissura transgranular, preenchida por material não identificado. Esse material também ocorre, localmente, na interface do agregado cerâmico com a pasta.

Em todas as amostras observa-se que o agregado de argamassa é muito poroso (Fotomicrografia 5). O agregado de cerâmica é menos poroso, mas freqüentemente apresenta microfissuras subparalelas, algumas se propagando até a pasta, onde tendem a desaparecer (Fotomicrografia 3).

Foi possível identificar opticamente 5 tipos de vazios (Tabela 5), cuja morfologia reflete sua gênese, quais sejam:

- ar aprisionado
- microfissuras na pasta
- microfissuras intragranulares (especialmente nos blocos cerâmicos)
- vazios na interface pasta-agregado
- vazios com formas irregulares

A amostra 148 é a que apresenta porosidade menor na avaliação óptica.. A pasta da amostra 105 é a mais porosa, devido à presença de vazios micrométricos. A pasta da amostra 148 é semelhante, exceto nas áreas carbonatadas.

Tabela 4 – Porcentagem estimada dos constituintes

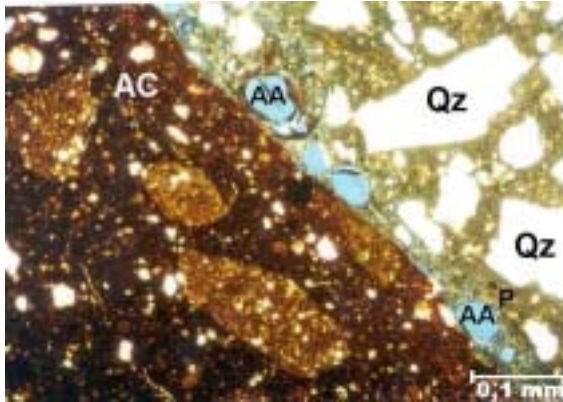
AMOSTRA n ^o	PASTA (%)	AGREGADO GRAÚDO (%)	AGREGADO MIÚDO (%)	VAZIOS (%)
148	10	60-65	20-25	5
		(nat 45) (bc 25) (arg 30)		
105	10-15	55	20	10
		(bc 70) (arg 30)		
106	10	60-65	20	5-10
		(bc 60) (arg 40)		

Legenda: nat: agregados naturais, bc: blocos cerâmicos arg: Argamassa.

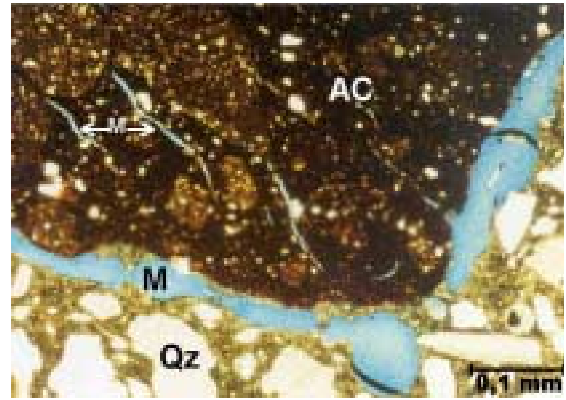
Nota: estimativa visual, efetuada em duas lâminas delgadas de cada amostra.



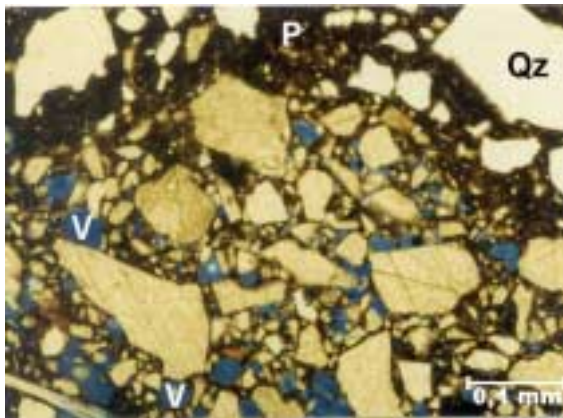
Fotomicrografia 1 - Am. 148.
Polarizadores cruzados. Presença de carbonatação no contato do agregado cerâmico com a pasta.



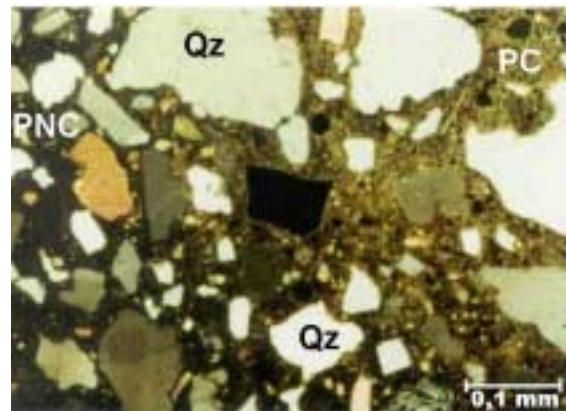
Fotomicrografia 2 - Am. 105.
Polarizadores descruzados. Aspecto zona de transição agregado cerâmico com a pasta. Presença de muitos vazios (ar aprisionado), denotando fraca aderência.



Fotomicrografia 3 - Am. 106.
Polarizadores descruzados. Aspecto zona de transição e microfissuras suborientadas intragranulares (internas, no agregado cerâmico).



Fotomicrografia 4 - Am. 105.
Polarizadores descruzados. Aspecto de agregado de argamassa, altamente poroso.



Fotomicrografia 5 - Am. 106.
Polarizadores cruzados. Aspecto de carbonatação parcial da pasta

Legenda: **AC** = agregado cerâmico; **M** = microfissura; **V** = vazio;
AA = ar aprisionado; **P** = pasta; **PC** = pasta carbonatada;
PNC = pasta não carbonatada.

Tabela 5 – Tios de vazios e classes porosimétricas.

AMOSTRA/ LÂMINA IPT n ^o	CLASSES POROSIMÉTRICAS				
	2-100µm	100-200µm	200-300µm	300-500µm	>500µm
148	vazios irregulares	Ar Aprisionado	-	Interface pasta/agregado e agregado/agregado	microfissuras na pasta
105	microfissuras na pasta	Interface pasta/agregado e agregado/agregado ar aprisionado	Vazios irregulares	-	-
106	-	Interface pasta/agregado e agregado/agregado	Vazios irregulares ar aprisionado	-	-

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os aspectos microscópicos observados na amostra 105 estão em concordância com o índice de vazios e de absorção superiores (Tabela 2). A maior porosidade deve-se provavelmente à presença de abundantes microfissuras na interface pasta-agregado, onde se concentram também bolhas de ar aprisionado, além de vazios capilares, micrométricos, possivelmente provenientes da água de amassamento. Com relação ao ensaio de carbonatação a petrografia não foi conclusiva.

6. RECOMENDAÇÕES

Está em andamento estudo petrográfico com amostras do concreto confeccionado com concreto reciclado, visando especialmente o estudo da interface pasta-agregado e comparar sua microestrutura com a dos concretos estudados nesse trabalho.



É interessante também efetuar microscopia e microsonda eletrônicas, objetivando identificar a natureza do gel observado na amostra 105, que assemelha-se, em termos de forma de ocorrência ao que é observado na reação álcali-agregado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. 1995. Standard
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1987. Determinação da Composição Granulométrica. (ABNT.NBR 7217).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1987. Determinação do Teor de Materiais Pulverulentos. (ABNT.NBR 7219).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1987. Determinação de Impurezas Orgânicas Húmicas em Agregado Miúdo. (ABNT.NBR 7220).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1987. Agregado em Estado Solto. Determinação da Massa Específica Unitária. (ABNT.NBR 7251).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1987. Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção d'água por imersão – Índice de vazios e massa específica. (ABNT.NBR 9778).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1987. Determinação da Absorção e da Massa Específica em Agregado Graúdo. (ABNT.NBR 9937).
- OLIVEIRA M.C.B., NASCIMENTO, C.B., CINCOTTO M. A. 1999 Microestrutura de argamassas endurecidas: uma contribuição da petrografia. In: V CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DE LAS CONSTRUCCIONES. 1999. V. 3, p.227-234, Montevideo. *Anais...* Uruguai.
- L.EVY S. M., HELENE,P.R.L. 2000 Durabilidade de concretos produzidos com resíduos minerais de construção civil. In: III SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: Práticas Recomendadas. 2000. P.3-14, São Paulo. *Anais...*São Paulo

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo que financiou a parte experimental desta pesquisa para Estudo da Durabilidade de Concretos Produzidos com Resíduos Minerais Reciclados através do processo 99-01444-0 e à estagiária-aluna de Geologia Priscila Rodrigues Melo Leal pela obtenção das medidas dos vazios nas lâminas das amostras estudadas e à técnica Renata Mazzetto, da Divisão de Geologia do IPT, pelo auxílio na digitação e editoração desse artigo.

 IBRACON	<p style="text-align: center;">IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações</p> <p style="text-align: center;">São Paulo 5 e 6 de junho de 2001</p>	 CT- 206 MEIO AMBIENTE
--	---	---

ENTULHO EM CANTEIRO DE OBRA UTILIZADO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO - UMA ALTERNATIVA INADIÁVEL

GRIGOLI, Ademir Scobin (1)

(1) Mestrando. Universidade de São Paulo, PCC.USP. C.P. 61.548,
São Paulo, 05424-970. ademir.scobin@pcc.usp.br

Palavras-chave: entulho, reciclagem resíduos de construção

RESUMO

Este trabalho, formula formas de como em um canteiro de obra pode-se utilizar do entulho gerado por esta obra, como material de construção.

São enumerados duas dezenas de situações em que o entulho de obra pode ser utilizado como material de construção, tal como assim o são utilizados em obras executadas pelo autor deste trabalho, seja na forma de concreto não estrutural, seja na forma de argamassas e seja na forma de simples enchimentos diversos.

Situações de elementos de obra, na forma de concretos e/ou argamassas, onde não requer alta resistência mecânica e alta capacidade de suporte abrasivo, podem ter como matéria prima o agregado miúdo e o agregado graúdo proveniente do entulho de obra, gerados e aplicados nesta mesma obra.

1. INTRODUÇÃO

A revista TÉCHNE de março/abril de 1995, textualmente cita as palavras do professor Vahan Agopyan, onde diz que "a construção civil é a única indústria capaz de absorver quase totalmente os resíduos que produz. Enquanto vários setores industriais diminuem a utilização de suas matérias primas, a engenharia civil jamais poderá reduzir a quantidade dos materiais necessários para uma obra, sem comprometer a qualidade da construção. Por isso, **é necessário encontrar soluções para o problema dos resíduos, com formas práticas de reciclagem na própria obra ou em usinas montadas para esse fim, (grifo nosso)**".

Para JOHN (1999), "o conceito de desenvolvimento sustentável está criando profundas raízes na sociedade e, certamente, deverá atingir as atividades do macro-complexo da construção civil, da extração de matérias primas, produção de materiais de construção, **chegando ao canteiro de obras e às etapas de operação/manutenção e demolição**, (grifo nosso)".

Segundo AGOPYAN et. al. (1998) e Simpósio Nacional de Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras: A Quebra do Mito (anais – 1999), o desperdício na construção civil apresentam valores de 76,00% para a areia, 95,00% para o cimento, 75,00% para a pedra, 97,00% para a cal, 9,00% para o concreto, 17,00% para blocos e tijolos, 10,00% para o aço e 18,00% para a argamassa, sendo na ordem de 50,00% destes gerado na forma de desperdício incorporado à obra e os outros 50,00%, gerados na forma de entulho de obra.

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".

BODI (1997), mostra resultados positivos com a execução de pavimentação de vias urbanas e revestimento primário para estabilização de ruas de terras.

HAMASSAKI et al. (1997), encontraram resultados satisfatórios de resistência a compressão em argamassas de entulho reciclável, apesar de não terem encontrado índices de pozolanicidade adequados, mostrados por RAVERDI et al. (1980).

Ainda HAMASSAKI et al. (1997), ressalta o fato de ser difícil o controle de qualidade do uso do entulho, enfocando que a sua heterogeneidade torna as avaliações dos potenciais dos produtos executados com entulho de obra muito dependentes da qualidade das condições das fontes geradoras do entulho de obra.

PINTO (1997), afirma que a viabilização da reciclagem de entulho de obra, é o coroamento de uma política nacional de gestão e destino dos resíduos de construção, predominantes entre os resíduos totais gerados. Estas novas formas de utilização de entulho de obra, supre o papel dos "bota fora" que podem estar em extinção.

Ainda PINTO (1997), mostra usos de reciclagem de entulho de obra, tais como pavimentação em Belo Horizonte; componentes do tipo blocos de vedação para alvenaria de paredes e muros divisórios em São Paulo e Ribeirão Preto; execução de calçadas (passeio público) em Belo Horizonte.

Segundo JOHN (1999), em uma cidade como São Paulo, o esgotamento das reservas próximas da capital faz com que a areia natural já seja transportada de distâncias superior a 100 km, implicando em enormes consumos de energia e geração de poluição.

Ainda, segundo JOHN (1999), a construção civil é potencialmente uma grande consumidora de resíduos proveniente de outras indústrias. O setor já é um grande reciclador de resíduos de outras indústrias. E segundo GRIGOLI (2000), indústria da construção civil pode ser consumidora de resíduos da própria construção civil.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é mostrar que dentro de um canteiro de obra existem dezenas de atividades que podem ser executadas com entulho de obra, desde uma argamassa, um concreto, um simples enchimento, ou até mesmo uma drenagem. Além do que procura mostrar critérios de como utilizar como materiais de construção, os entulhos gerados por uma obra, na própria obra.

3. O CANTEIRO DE OBRA E O ENTULHO GERADO

A minimização do entulho gerado em um canteiro de obra requer que os processos construtivos estejam de tal forma estabelecidos, que conduzam à execução das diversas etapas do cronograma físico de forma sincronizada, sem provocar erros executivos na caracterização de desperdício incorporado, ou até mesmo desperdícios de materiais na forma de mal manuseio e quebras, tendo-se que refazer serviços já executados.

Em todas as fases da obra, ocorrem o aparecimento do entulho, constituídos das mais variadas formas, particularidade esta, intrínseca à etapa de cada obra.

O entulho de obra, é produto originado dentro de um canteiro de obra, oriundo de vários fatores:

- quebra de produtos, ou ruptura de embalagens durante a descarga;
- quebra de produtos, ou ruptura de embalagens durante a armazenagem;
- quebra de produtos, ou ruptura de embalagens durante o transporte;
- quebra de serviços já executados em função de erros de execução;
- quebra de serviços já executados em função de erros de projetos;
- quebra de serviços já executados em função de mudanças de projetos;
- quebra de produtos durante a execução dos serviços, por falta de planejamento durante a modulação da obra;
- perda de materiais por falta de profissionalismo da mão de obra empregada;

- perdas na forma de entulho de obra, por falta de gestão na operacionalização das atividades do canteiro de obra.

Os entulhos recicláveis, são compostos de areias, pedras, concreto, cerâmicas, argamassas, vidros/cerâmicas esmaltada, metais em porcentagens tal como mostra a figura 01.

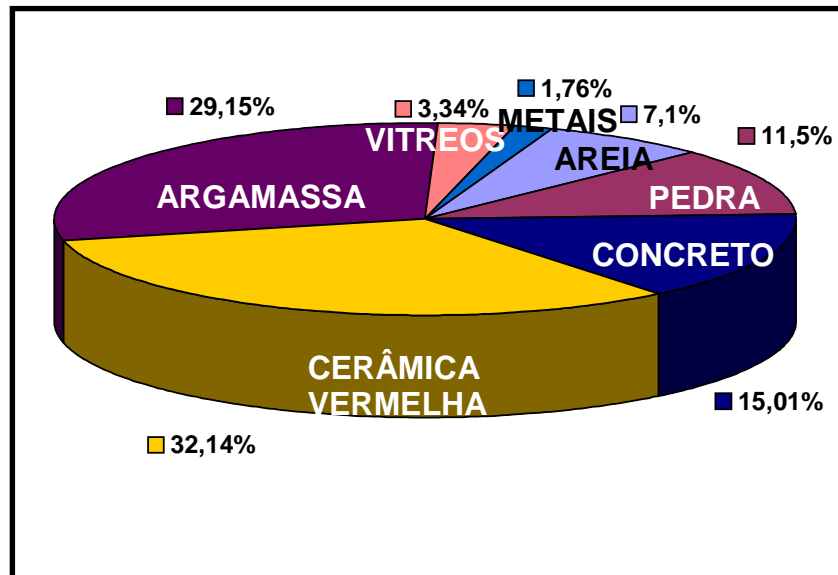


Figura 01 - Percentuais de frações de entulho de obra, GRIGOLI (2000).

A medida que as etapas de uma obra vão se cumprindo, de acordo com o cronograma físico, porções de entulho vão se formando a cada atividade executada.

Em função da falta de espaço físico e com a propensa idéia em deixar a obra "limpa", é comum o construtor promover a cada etapa de produção de entulho, uma limpeza do local, levando o entulho para o térreo da edificação e em seguida enviando embora para algum "bota fora". Todo este procedimento de deslocamento do entulho, pelo canteiro, e, mandando para um "bota fora", custa muito caro.

Para o uso do entulho como material de construção na própria obra, **não se faz movimentos com os entulhos recicláveis gerados**, deixa-os no próprio compartimento ou no próprio pavimento em que foi gerado, apenas acomodando-os em um dos cantos.

O entulho gerado, preliminarmente sendo deixado no próprio compartimento, proporcionalmente ocupa menos espaço físico do que o que eventualmente ocuparia no térreo em operação antecedente ao "bota fora".

JOHN (1999), alerta a importância da seleção criteriosa, uma vez que "um dos problemas mais graves nos entulhos, é que sua composição varia de acordo com a fase da obra e o tipo de obra e que afeta a qualidade das argamassas produzidas", ressaltando ainda, mais rigorosidade no selecionamento em

função da "recente introdução maciça de gesso na forma de revestimentos ou placas", ressaltando ainda que os problemas de misturas indesejáveis, "podem ser superados pela classificação dos entulhos e seu manejo em pilhas de maneira a reduzir a sua variabilidade". E, afirma ainda ser isto possível somente em centrais de reciclagem. Mas no entanto, segundo opinião do autor deste trabalho, este problema em canteiro de obra pode ser solucionado.

Quando o entulho é gerado, gera-se simultaneamente porções de entulho não reciclável e entulho reciclável. Um procedimento aconselhável é que a medida que os entulhos não recicláveis forem sendo gerados, que também sejam eliminados para fora do ambiente onde foi gerado.

A presença do solo argiloso nos entulhos que vão ao "bota fora" por "caçambões", é ainda mais acentuada, pois não existe nenhuma preocupação em separar estes componentes, antes de mandá-los fora do canteiro de obra.

A gestão do canteiro de obra em se promover a permanência dos entulhos recicláveis nos compartimentos ou pavimentos onde foram gerados, elimina totalmente a possibilidade de mistura com solo argiloso.

O traço de uma argamassa ou de um concreto em canteiro de obra, com entulho reciclável, tem que ser de tal forma que facilite o seu desempenho operacional na sua utilização. E, para isto, a melhor forma é expressá-lo em volume.

Um aspecto muito importante a ser considerado no uso da argamassa e/ou do concreto de entulho reciclável, a ser executado no canteiro, é a mediação entre a potencialidade desta argamassa e/ou concreto e as peças a serem executadas na obra. As peças a serem executadas, de forma nenhuma devem solicitar altas tensões ao concreto ou à argamassa.

A determinação do fator água/cimento, tanto para a argamassa, quanto para o concreto executados com entulhos recicláveis, está vinculada eminentemente à consistência necessária a sua aplicação.

As atividades de um canteiro que permitem a aplicação de argamassa ou concreto de entulho reciclável, quando sendo desenvolvida, requer que seja aplicado um traço adequado, necessitando de uma mistura também adequada.

4. CARACTERÍSTICAS DE REISTÊNCIAS E TRAÇOS DE CONCRETOS E ARGAMASSAS EXECUTADOS COM ENTULHOS RECICLÁVEIS

4.1. Resultados com Argamassa com a Fração Miúda de Entulho de Obra

4.1.1. Assentamento de Batentes; Enchimento de rasgos de paredes, Chumbamentos de Tubulações Elétricas e Hidráulicas; Execução de Enbocamento de Tubulações; Remendos e Emendas em Alvenarias; Enchimento de Rebocos Internos.

Traço:

1,00:2,00:6,00.

Sendo: 1,00 volume de cimento, para 2,00 volumes de cal, para 6,00 volumes de porção miúda de entulho de obra.

Resistência apurada aos 28 dias: 2,10 MPa.

4.1.2. Assentamento de esquadrias; Chumbamentos de Caixas Elétricas, Enchimento de Degraus de Escadaria.

Traço:

1,00:2,00:5,00.

Sendo: 1,00 volume de cimento, para 2,00 volumes de cal, para 5,00 volumes de porção miúda de entulho de obra.

Resistência apurada aos 28 dias: 2,40 MPa.

4.1.3. Assentamento de Blocos Cerâmicos.

Traço:

1,00:2,00:3,00:3,00.

Sendo: 1,00 volume de cimento, para 2,00 volumes de cal, para 3,00 volumes de porção miúda de entulho de obra, para 3,00 volumes de areia natural média.

Resistência apurada aos 28 dias: 2,80 MPa.

4.2. Resultados com Concretos com a Fração Miúda e Fração Graúda de Entulho de Obra

4.2.1. Contrapiso de Interiores de Unidades Habitacionais; Estaqueamento – Fundações de Muros Com Pequenas Cargas; Vigas de Concreto com Baixa solicitação; Pilares de Concreto com Baixa Solicitação; Contrapiso ou Enchimento de Casa de Máquinas e Áreas Comuns de Baixo Tráfego.

Traço:

1,00:2,00:2,00:2,00:2,00.

Sendo: 1,00 volume de cimento, para 2,00 volumes de porção miúda de entulho de obra, para 2,00 volumes de areia natural média; para 2,00 volumes de porção graúda de entulho de obra, para 2,00 volumes de brita 01 natural.

Resistência apurada aos 28 dias: 16,00 MPa.

No caso específico de contrapiso de interiores de unidades habitacionais, pode-se optar pela adoção de um outro constituinte no concreto, qual seja, a palha de arroz. Elemento este, utilizado quando o contrapiso executado tenha espessuras superiores a 6,00 centímetros. Daí o traço toma a forma de 1,00:2,00:2,00:2,00:2,00:2,00.

Sendo: 1,00 volume de cimento, para 2,00 volumes de porção miúda de entulho de obra, para 2,00 volumes de areia natural média; para 2,00 volumes de porção graúda de entulho de obra, para 2,00 volumes de brita 01 natural, para 2,00 volumes de palha de arroz.

Com resistência apurada para este caso aos 28 dias: 10,00 MPa.

4.2.2. Concreto de Piso para Abrigos de Automóveis Leves.

Traço:

1,00:3,00:1,50:2,00.

Sendo: 1,00 volume de cimento, para 3,00 volumes de areia natural média, para 1,50 volumes de porção graúda de entulho de obra, para 2,00 volumes de brita 01 natural.

Resistência apurada aos 28 dias: 20,00 MPa.

Segundo BRITO FILHO (1999), "é temerário a utilização de concretos produzidos com entulho de construção civil para elementos estruturais, em virtude da heterogeneidade de seus fragmentos". E continua, "uma fração que por ventura possua baixa resistência ao esmagamento pode comprometer a estabilidade da estrutura". E ainda, "concretos produzidos com entulhos de construção civil não devem ser utilizados em elementos estruturais que estejam submetidos a grandes esforços de compressão ou tração".

ZORDAN; PAULON (1997), mostram através de experimentos com dosagens de concretos com entulho de obra que **"o entulho de obra pode ser utilizado como agregado, na confecção de concreto não estrutural destinados à infra-estrutura urbana, (grifo nosso)".**

Tanto o concreto, como a argamassa executados com entulho de obra, oferecem como produto final, uma massa com grande absorção de água, tornando eventuais armaduras presentes, susceptíveis à corrosão das armaduras. Embora a presença de carbonatos de cálcio, oriundos da presença da cal nas argamassas de cal, dão origem à água presente, uma característica de água dura, gerando uma película colmatadora, protegendo a armadura, podendo minimizar a corrosão desta armadura. Mas se existir uma relativa penetração de gás carbônico, em função da porosidade deste concreto, o processo corrosivo pode se implantar pelo avanço da frente de carbonatação. E, ainda mais nocivo, justapondo ao fato de existir uma alta variedade de substâncias eletroquimicamente ativas, oriundas da multivariabilidade de produtos que compõem o entulho de obra. Segundo TOPÇU e GUNÇAN (1995), cuidado especial, mais preocupante, é a presença do gesso de construção, ou até mesmo os resíduos orgânicos, formadores das porções ácidas, certamente presentes em grande parte dos entulhos de obra. Então o indicador da inevitável presença de corrosão em armaduras de aço estrutural, também qualificam estas argamassas e concretos à não atuação como de forma estrutural para peças carregadas.

5. ELEMENTOS DE OBRA QUE USAM ELEMENTOS SIMPLES OU COMPOSTOS DO ENTULHO

Numa edificação, em todas as suas fases executivas, em algum momento existem atividades que podem ser executadas com materiais recicláveis de um canteiro de obra.

5.1. Assentamentos de Batentes

Quando do assentamento de um batente ou portal para porta, promove-se o chumbamento com argamassa de cimento e areia em três ou quatro pontos de cada lateral do mesmo, e o enchimento restante, procede-se com argamassa de areia, cimento e cal. Esta última pode ser substituída por argamassa com agregado reciclável da própria obra. Pode-se ser utilizado no traço de 1,00(cimento): 2,00(cal): 6,00 (agregado miúdo reciclado). E, para enchimentos maiores, utiliza-se pedaços de tijolos que podem ser qualificados de entulho de blocos cerâmicos.

5.2. Assentamentos de Esquadrias e/ou Contramarco

Quando do assentamento de uma esquadria ou de um contramarco, promove-se o chumbamento com argamassa de areia e cimentos em pontos indicados pelo fabricante da peça. O enchimento restante, comumente é preenchido com argamassa de cimento, cal e areis. Esta última argamassa, pode ser substituída por argamassa com agregado miúdo reciclável no traço de 1,00(cimento): 2,00 (cal): 5,00(agregado miúdo reciclado). E, para enchimentos maiores, utiliza-se pedaços de tijolos que podem ser qualificados de entulho de blocos cerâmicos.

5.3. Enchimentos de Rasgos de Paredes, Chumbamentos de Tubulações Elétricas e Hidráulicas

Na instalação de tubulações elétricas, telefônicas, hidráulicas e sanitárias, procede-se o corte da parede e após este corte, sua devida instalação, com posterior cobrimento e regularização com argamassa de cimento, cal e areia. Esta argamassa de cobrimento e regularização colocada após a instalação das tubulações pode ser substituída por argamassa cujo agregado miúdo seja agregado miúdo reciclável. O traço utilizado é 1,00(cimento): 2,00(cal): 6,00 (agregado miúdo reciclado). E, para enchimentos maiores, utiliza-se pedaços de tijolos que podem ser qualificados de entulho de blocos cerâmicos.

5.4. Assentamento de Blocos Cerâmicos

Para o assentamento de blocos cerâmicos em paredes verticais de divisórias e/ou vedação, normalmente se utiliza argamassa de cimento, cal e areia. Esta argamassa, pode ser substituída por argamassa de agregado miúdo reciclável, combinada com areia natural média no traço 1,00 (cimento): 2,00(cal): 3,00 (areia natural média): 3,00(agregado miúdo reciclável).

Objetivamente, neste caso a argamassa de assentamento, pode ser utilizada amplamente dentro de um canteiro de obras, uma vez que somente duas características são dominantes no seu uso: a plasticidade/trabalhabilidade no manuseio e a sua resistência mecânica após a cura.

No fechamento de paredes verticais de divisórias e/ou vedação, normalmente, necessita-se de promover o encunhamento superior, tal cunhamento pode ser feito com entulho de blocos cerâmicos onde tenha dimensões para tal.

5.5. Chumbamentos de Caixas Elétricas

As caixas elétricas, de uma construção, normalmente são assentadas em paredes de alvenaria com argamassa de cimento, cal e areia. Esta argamassa pode ser plenamente substituída por argamassa cujo agregado miúdo seja agregado miúdo reciclável. No traço de 1,00(cimento): 2,00 (cal): 5,00(agregado miúdo reciclado). E, para enchimentos maiores, utiliza-se pedaços de tijolos que podem ser qualificados de entulho de blocos cerâmicos.

5.6. Execução de Embonecamento de Tubulações

Durante a implantação dos sistemas elétrico, telefônico, hidráulico e sanitário de uma edificação, determinadas prumadas não se consegue imbutí-las na espessura original das paredes de alvenarias, e portanto optando-se por uma alternativa de embonecamento. Este embonecamento, normalmente se utiliza de blocos cerâmicos e argamassa de cimento, cal e areia para a sua viabilização física no canteiro. Tanto os blocos cerâmicos, quanto a argamassa, podem ser substituídos respectivamente por entulhos (pedaços grandes) de blocos cerâmicos e argamassa de agregado miúdo reciclável. A argamassa de agregado miúdo reciclável é executada no traço 1,00(cimento): 2,00(cal): 6,00 (agregado miúdo reciclado).

5.7. Remendos e Emendas em Alvenarias

Por muitos motivos, em uma edificação tem-se a necessidade de promover remendos e emendas em alvenarias já executadas. Estas atividades levam tipos e formas multivariadas de como serem executadas, e, tais remendos e emendas podem ser executados com argamassas cujo agregado miúdo seja de entulho reciclado, no traço 1,00(cimento): 2,00(cal): 6,00 (agregado miúdo reciclado).

5.8. Enchimentos de Rebocos Internos

Durante a execução de revestimentos, eventualidades podem ocorrer quanto à espessura deste revestimento, tendo-se necessidade de engrossá-lo. Normalmente, o procedimento adotado para tal enchimento, é utilizar a mesma argamassa de qualquer revestimento. Este enchimento de revestimento pode ser executado com argamassa cujo agregado miúdo seja de entulho reciclável, no traço 1,00(cimento): 2,00(cal): 6,00 (agregado miúdo reciclado).

5.9. Enchimentos de Caixões Perdidos

Na execução de uma edificação, às vezes por questão arquitetônica, ou às vezes por questão estrutural, pode ocorrer a necessidade de se fazer caixões perdidos, onde fica clara a necessidade inevitável da promoção de enchimentos. Uma das hipóteses disponíveis, embasada em informações do projeto estrutural, é o enchimento deste vazio com entulho de obra. Pode ser viabilizado com entulho de blocos cerâmicos não triturados que possui um peso relativamente pequeno (da ordem de 800 kg/m³), originado em função do grande volume de vazios formado.

5.10. Enchimento de Degraus de Escadaria

Os degraus de uma escadaria, podem ser executados sobre uma laje plana inclinada, onde as delimitações das pisadas e os espelhos dos degraus são conformadas numa etapa quando existir disponível agregado reciclável miúdo. A argamassa executada com agregado reciclado miúdo, viabiliza o assentamento dos blocos cerâmicos, dando forma aos degraus necessários.

5.11. Estrado sobre o solo para lançamento de Contra-Piso e Passeio Público

Em todo lançamento de um contrapiso que se apoie em solo, antes do lançamento da ferragem e do concreto, executa-se uma camada de proteção para que a ferragem não toque o solo. Esta camada regularizadora e protetora, pode ser executada com entulho reciclado graúdo, sendo preferível porções de blocos cerâmicas e de concreto, evitando-se o uso de argamassas.

Segundo estudos proferidos pela Prefeitura de São Paulo, entulhos reciclados utilizados como sub-bases e bases de pavimentos, obtiveram acréscimos de CBR da onde, de 40,00% a 120,00% a maior, Brito Filho (1999).

5.12. Contrapiso e Interiores de Unidades Habitacionais

Segundo Brito Filho (1999), "esta é a forma de utilização do entulho de obra mais empregada atualmente em obras de pequeno porte".

Nos interiores de unidades habitacionais, antes da colocação do piso de acabamento, existindo a necessidade de uma regularização de nível, procede-se a execução do contrapiso. Este contrapiso pode ser executado com um concreto a base de entulho reciclável, no traço 1,00(cimento) : 2,00(areia natural média) : 2,00 (agregado miúdo reciclado) : 2,00 (brita 01 natural) : 2,00 (agregado graúdo reciclado), onde o agregado graúdo reciclado, tem que ter dimensão máxima característica adequada à espessura que o contrapiso será executado e em casos onde o contrapiso tem que ser executado com espessura superior a 6,00cm, incorpora-se no local da aplicação, pedaços de entulho cerâmico para alcançar os volumes desejados.

Após ao lançamento deste concreto, executa-se um capeamento definitivo e regularizador com argamassa desempenada com funções anti-abrasiva, preparada para a receber a colagem ou o assentamento do piso definitivo.

5.13. Concretos de Piso para Abrigos de Automóveis Leves

Abrigos para automóveis leves de edificações habitacionais, são executados de tal forma que seu piso esteja apoiado diretamente no solo, ou que esteja apoiado em laje estrutural.

Tanto em um, como no outro caso, os concretos de regularizações sobre laje estrutural, ou sobre o solo, pode ser executado com agregados recicláveis, no traço 1,00 (cimento) : 3,00 (areia natural média) : 2,00 (brita 01 natural) : 1,50 (agregado graúdo reciclado), onde na porção do agregado graúdo reciclado, evita-se a colocação de porções em que sua constituição seja de argamassa de cal.

Após ao lançamento deste concreto, executa-se um capeamento definitivo e regularizador com argamassa desempenada com funções anti-abrasiva, preparada para a receber o assentamento do piso de acabamento.

5.14. Drenos de Floreiras

Floreiras ou jardins suspensos em concreto, possuem drenos constituídos de uma camada de brita em seu fundo, para funcionar como elemento drenante. No lugar de se utilizar agregados inertes naturais, pode-se utilizar agregados graúdos reciclados de blocos cerâmicos.

5.15. Drenos de Visitas de Hidrantes e Drenos e Drenos de Fundo de Poço de Elevador

Tala como as floreiras e jardins suspensos, os hidrantes de passeio, executados em caixas de visitas no solo ou no passeio público, ou os poços de elevadores, necessitam de devidamente dimensionados, drenos para o escoamento de eventuais presença de água indesejáveis. Os drenos dos hidrantes de passeio e do fundo dos poços de elevadores, podem ser executados com agregados graúdos reciclados de blocos cerâmicos, preponderantemente sem presença de finos.

5.16. Drenos de Escoamento de Água de Chuvas e Drenos de Pastios de Estacionamento

Segundo Brito Filho (1999), "dadas as características de resistência mecânica dos entulhos, podem ser usados com segurança em obras de drenagem como lastro, para assentamento de tubos, envelopamento de galerias e como camadas drenantes, sendo para esta última, com ausência de finos".

Pátios de estacionamento onde não existe pavimentação, e devidamente instaladas existem redes de drenagem, os agregados graúdos que envolvem as tubulações de drenagem, são substituídas por agregados graúdos recicláveis sem presença de finos e de torrões de argamassa.

5.17. Aterramento de Valetas junto ao Solo

Durante a execução de uma edificação, existe uma fase em que ocorrem escavações na forma de valetas junto ao solo, para o lançamento de tubulações elétricas, telefônicas e hidro-sanitárias. Ao término da alocação destas tubulações, promove-se a recolocação do solo devidamente compactado para o preenchimento da valeta executada. O entulho de obra pode ser utilizado para o aterramento destas valetas, utilizando-o misturado ao solo da própria valeta. Neste caso, o entulho misturado apresenta melhores vantagens do que o próprio solo natural, uma vez que possui propriedades do que o próprio solo natural devido ao seu impolamento ser "zero". Esta operação evita a saída do entulho de obra como "bota fora", e o solo retirado da valeta, permanece na obra podendo ser utilizado em serviços de jardinagens.

5.18. Estaqueamento - Fundações de Muros com pequenas cargas

O concreto executado com entulho, apresentando resistência a compressão aos 28 dias na ordem de 16,00 MPa, pode ser plenamente utilizado em estacas moldadas "in loco", no sentido de suportar cargas axiais oriundas de muros divisórios de alvenarias. Estas estacas de diâmetro nominais de 25,00 cm, com profundidade da ordem de 6,00 metros, cujas cargas axiais que nunca excedem a 8,00 toneladas. Concreto é utilizado com o traço 1,00 (cimento) : 2,00 (areia natural média) : 2,00 (agregado miúdo reciclado) : 2,00 (brita 01 natural) : 2,00 (agregado graúdo reciclado).

Em casos onde o concreto cujos agregados são originários do entulho, deve-se analisar ponderativamente o aspecto e a suportabilidade da corrosão da ferragem presentes no concreto destas estacas, pois em casos que o agente corrosão compromete a estabilidade do conjunto, mesmo que pequenas forem as cargas atuantes, tal concreto com a finalidade de estaqueamento não pode ser utilizado.

5.19. Vigas de Concreto com Baixa Solicitação

Vigas de concreto utilizadas como elementos de respaldo de alvenaria e como elementos de amarração, tal como as muito utilizadas em muros divisórios, onde as taxas de compressão do concreto não ultrapasem a 8,00 MPa. O concreto executado a base de entulho de obra com o traço traço 1,00 (cimento) : 2,00 (areia natural média) : 2,00 (agregado miúdo reciclado) : 2,00 (brita 01 natural) : 2,00 (agregado graúdo reciclado).

Em casos onde o concreto cujos agregados são originários do entulho, deve-se analisar ponderativamente o aspecto e a suportabilidade da corrosão da ferragem presentes no concreto destas estacas, pois em casos que o agente corrosão compromete a estabilidade do conjunto, mesmo que pequenas forem as cargas atuantes, tal concreto com o uso em vigas não pode ser utilizado.

5.20. Pilares de Concretos com Baixa Solicitação

Pilares de concreto utilizados como elementos estrutural e como elementos de amarração, onde as taxas de compressão do concreto não ultrapassem a 5,00 MPa. É aceitável o concreto executado a base de entulho de obra com o traço traço 1,00 (cimento) : 2,00 (areia natural média) : 2,00 (agregado miúdo reciclado) : 2,00 (brita 01 natural) : 2,00 (agregado graúdo reciclado). Os muros divisórios, apresentam cargas nos concretos, compatíveis com estas taxas de compressão aqui enumeradas.

Em casos onde o concreto cujos agregados são originários do entulho, deve-se analisar ponderativamente o aspecto e a suportabilidade da corrosão da ferragem presentes no concreto destas estacas, pois em casos que o agente corrosão compromete a estabilidade do conjunto, mesmo que pequenas forem as cargas atuantes, tal concreto com o uso em pilares não pode ser utilizado.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS



O entulho que uma obra produz, pode ser utilizado e consumido de forma reciclável dentro da própria obra. Em algumas das obras do autor deste trabalho, além de utilizar todo o entulho gerado, utilizou-se também entulho importado de outras obras. Então, deve-se, porém, criteriosamente, estabelecer procedimentos de tal forma que não se equiparem em sua plenitude física, os produtos executados com entulho aos executados com produtos "In natura".

O uso do entulho como material de construção em canteiro de obras, é de forma preponderante, inevitável e inadiável, pois de alguma forma, muito esforço há por se fazer no sentido de conscientizar nossos construtores ao fato de que todos ganham com a reciclagem do entulho de obra, principalmente a natureza.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, V et. al. Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras. – **Relatórios** de volumes 01 a 05. São Paulo: 1998.
- AGOPYAN, V Souza; U.E. Paliari, J.C. Andrade. J.C. Simpósio Nacional – Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obras: A Quebra do Mito (1999 : São Paulo) – São Paulo : PCC/EPUSP, 1999.
- BODI, j. Experiência Brasileira com Entulho Reciclado na Pavimentação. **Anais**. Simpósio sobre Reciclagem na Construção Civil, Alternativa Econômica para Proteção Ambiental. IBRACON. Comitê 206. São Paulo. 1997.
- BRITO FILHO, Jerson A.. Cidades versus entulho. **Anais** - II seminário – Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. São Paulo: 1999.
- GRIGOLI, Ademir Scobin e MIRANDA, Gerson Tomaz. Desenvolvimento de um método para análise do padrão de qualidade da argila para a fabricação de tijolos na região de Maringá – **Publicação Revista UNIMAR** – Órgão Oficial da Universidade Estadual de Maringá – Paraná – Volume 02 – número 03 – Maringá: 1980.
- GRIGOLI, A. G., Entulho de obra - Reciclagem e consumo na própria obra que o gerou. In: ENTAC - 2000, Modernidade e Sustentabilidade, VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Meio Ambiente Construído. **Anais**. Salvador, Bahia: abril 2000.
- HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C., Utilisation of construction waste in rendering mortar. In: CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND. - INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION, Dundee - Escócia. **Proceedings**, pp.115-120. Ravindra & Thomas Grã Betanha - junho 1996.
- JOHN, Vanderley M. Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar – Texto técnico “site”- <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/> - 23-05-1999.
- JOHN, Vanderley M. Panorâmica sobre a reciclagem de resíduos na construção civil. **Anais** – II seminário – Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil. São Paulo: 1999.
- NORTON, F. H. **Introdução à Tecnologia Cerâmica** – Tradução Jeferson Vieira de Souza. São Paulo: Edgard Blucher – 1973.
- PINTO, T. P., Reciclagem de Resíduos da Construção Urbana no Brasil - Situação Atual. **Anais**. Simpósio sobre Reciclagem na Construção Civil, Alternativa Econômica para Proteção Ambiental. IBRACON. Comitê 206. São Paulo. 1997.
- PINTO, T. P., Reciclagem no canteiro de obras - responsabilidade ambiental e redução de custos. Artigo técnico - Revista de Tecnologia da Construção - TÉCHNE. PINI. N. 49. São Paulo: Novembro/dezembro-2000.
- RELATÓRIOS DE DIÁRIOS DE OBRA** – De obras executadas pelo autor Grigoli, Ademir Scobin – 25(vinte e cinco) Edifícios de 03 a 18 pavimentos de 1984 a 1999.

- RAVERDI, M.; BRIVOT, F.; PAILLERRE, A. M.; DRON, R. Appréciation de l'activité pouzzolanique des constituantes secondaires, In. CONGRÉS INTERNATIONAL DE LA CHIMIE DES CIMENTS, **anais**. - 7e, v.III, IV-36. Paris: 1980.
- REVISTA TÉCNNE - O entulho vira bloco, vira casa, vira rua vira..... Pág. 15-19. No. 15. **Tèchne** -Editora Pini. São Paulo. Março/abril - 1995.
- TOPÇU, I. B. e GUNÇAN, N. F., Using waste concrete as aggregate. **Cement and Concrete Research**, Vol. 25, No. 7 pp. 1385-1390, 1995.
- ZORDAN, Sérgio Eduardo. Entulho da indústria da Construção civil. Ficha técnica – textos “site”-<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/> - 05-05-1999.
- ZORDAN, Sérgio Eduardo; PAULON, Vladimir A.. A utilização do entulho como agregado para concreto. - Texto técnico “site” - <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/> - 15-06-1999. – Resumo de Defesa de tese de Mestrado – 1997.

 IBRACON	<p style="text-align: center;">IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil</p> <p style="text-align: center;">São Paulo 5 e 6 de junho de 2001</p>	 CT- 206 MEIO AMBIENTE
--	--	---

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DE CONTRAPISOS COM AGREGADO DE ENTULHO DE OBRA

TURMINA, Rogério Fabiano (1); **BARROS**, Mercia M. S. B. (2)

- (1) Aluno de graduação da EPUSP e pesquisador no Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, PCC-USP. Rua Lima, 33. Sorocaba, SP. Cep. 18047-110. E-mail rogério.turmina@poli.usp.br
- (2) Prof. Doutora, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica, PCC-USP. São Paulo, SP 05424-970. E-mail mercia@pcc.usp.br

Palavras-chave: Resíduo de Construção, Contrapisos

RESUMO

O entulho de obra é considerado um problema ambiental importante principalmente porque estão se esgotando os aterros sanitários. Hoje ele vem sendo utilizado para muitas finalidades, tais como sub-bases de rodovias, produção de concretos e de argamassas, entre outras. No que se refere a argamassas, há alguns estudos que contemplam as argamassas de revestimento vertical; entretanto, praticamente inexistem estudos acerca do seu uso em argamassas para contrapisos, objeto do presente trabalho, cujo objetivo é verificar a viabilidade do seu uso para esse serviço.

No estudo realizado, trabalha-se com entulho selecionado a partir da moagem de blocos cerâmicos, de concreto e de argamassas. As argamassas estão sendo produzidas com dois consumos distintos de cimento/m³ de argamassa: 250 e 300 kg de cimento/m³ de argamassa. Para cada consumo serão utilizadas duas composições de entulho, além de uma de referência, que será composta apenas de cimento e areia.

As propriedades das argamassas no estado endurecido a serem ensaiadas são: compressão simples e tração na flexão; enquanto as propriedades a serem avaliadas no contrapiso são: resistência ao impacto; resistência de aderência à base e superficial.

1. INTRODUÇÃO

1.1. O contrapiso no contexto geral do edifício

O contrapiso é uma das camadas do subsistema piso e apresenta diversas funções como: possibilitar o recebimento do revestimento do piso; transmitir à laje suporte as cargas de utilização; proporcionar os desníveis entre os ambientes contíguos e; permitir o eventual embutimento de instalações.

Para cumprir estas funções, o contrapiso deve apresentar diversas características e propriedades, como: resistência mecânica, que pode ser dividida em resistência ao desgaste superficial por abrasão, resistência ao choque e punção e resistência à tração; resistência de aderência e capacidade de absorver deformações; condições superficiais como nivelamento, planeza e regularidade superficial adequada, como também a rugosidade, porosidade e limpeza superficiais.

Os contrapisos podem ser classificados segundo o número de camadas (camada única e múltiplas camadas), e segundo a sua aderência ao substrato (aderido, não aderido e flutuante), sendo que estes diversos tipos de contrapisos serão produzidos com métodos construtivos diferentes..

Segundo BARROS (1991), as argamassas de contrapiso apresentam uma consistência semi-seca ou do tipo farofa, com umidade variando entre 10 a 12%, com um teor de finos dos agregados passante na peneira #200 inferior a 7%. Este limite é proposto pela autora exatamente para evitar que a argamassa fique muito plástica e aumente a fissuração.

1.2. O entulho de construção civil

O entulho de construção civil é proveniente de construções de obras e de demolições de obras prontas (ZORDAN, 2000). Essas são as principais origens do entulho. O entulho de obra representa cerca de 95% dos resíduos de uma obra (CAMARGO, 1995).

A sua composição é muito variada, dependendo da região onde é coletada a amostra e para qual foi a finalidade da obra. É composto basicamente por uma fração mineral (argamassa, areia, material cerâmico, concreto) e por materiais deletérios (madeira, papel, plástico, metais, matéria orgânica, solo, barro, gesso, graxa dentre outros), segundo diversos autores como CAMARGO (1995), PINTO (1996), LEVY (1997) e ZORDAN (2000).

Um grande problema na captação do entulho em demolições é a sua heterogeneidade na coleta. Segundo MIRANDA (2000), estão sendo desenvolvidas técnicas de desmantelamento seletivo, que corresponde à demolição da obra por etapas, para homogeneizar o material.

Segundo LEVY (1997) e ZORDAN (2000), dentre outros autores, o entulho pode ser utilizado para sub-bases de rodovias, blocos de concreto, guias de calçadas, concretos, argamassas entre outras utilidades.

Para a utilização do entulho como agregado, primeiramente é feita uma seleção do entulho, para a retirada dos materiais deletérios, e então o entulho é britado ou moído, dependendo da finalidade do seu uso.

Os grãos dos agregados do entulho, quando britados ou moídos, ficam mais porosos, devido à argamassa aderida aos grãos do agregado original (LEVY, 1997). A granulometria do agregado reciclado é variada e a forma do agregado é mais angular que dos agregados naturais, sendo que o agregado de material cerâmico apresenta a forma mais angular.

Em concretos, a resistência mecânica é reduzida, de modo que para traços mais pobres em cimento, essa diferença passa a ser insignificante. Em argamassas, foi verificado por MIRANDA (2000) que quanto mais material reciclado há na composição do agregado, maior é a quantidade de água que a argamassa necessitará para manter a mesma consistência. Isso se deve à absorção do entulho, em especial o entulho cerâmico.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi dividida em várias etapas, como apresentadas a seguir:

Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica, para obter conhecimentos gerais a respeito do assunto. Durante e após esta etapa, foram obtidos os materiais a serem utilizados na pesquisa, como os blocos, a areia, o cimento, a cal e a máquina para realizar a moagem dos materiais que seriam os constituintes do entulho.

A areia utilizada é a média de rio, o cimento que foi utilizado na pesquisa é o cimento Barroso, da Holdercim - CII-E-32. A cal utilizada na confecção da argamassa mista é a cal CH-III da Votoran.

Os entulhos básicos que foram adotados nesta pesquisa são o entulho proveniente da moagem de blocos cerâmicos, de blocos de concreto e de argamassa mista.

Os entulhos compostos preparados a partir dos entulhos básicos, estão especificados na tabela 1.

Tabela 1 – Composição dos entulhos compostos.

	Material Cerâmico (%)	Material de Concreto (%)	Argamassa (%)
ABC	55	0	45
ABO	0	55	45

Com os entulhos compostos preparados, foram confeccionadas argamassas para o contrapiso, como mostradas na tabela 2.

Tabela 2 – Composição das argamassas para contrapiso com entulho de obra.

TIPO DA ARGAMASSA	PORCENTAGEM DOS MATERIAIS CONSTITUINTES				
	Areia	Argamassa	B. Concreto	B. Cerâmico	Traço (1)
REF4	100%	-	-	-	1:4
ABO4	50%	22,5%	27,5%	-	1:4
ABC4	50%	22,5%	-	27,5%	1:4
REF6	100%	-	-	-	1:6
ABO6	50%	22,5%	27,5%	-	1:6
ABC6	50%	22,5%	-	27,5%	1:6

(1) – Traços em volume de materiais secos.

Com a argamassa pronta, foram realizados ensaios no estado endurecido, na forma de corpos de prova (cp) e em placas de contrapiso, melhor especificadas no item 3 deste trabalho referente à pesquisa experimental.

3. PESQUISA EXPERIMENTAL

Na pesquisa experimental está presente o preparo do agregado de entulho de obra, assim como a caracterização dos materiais, ensaios na argamassa no estado fresco, endurecido e no contrapiso.

3.1. Preparo dos agregados de entulho

Para o preparo dos agregados de entulho, foi utilizado um moedor da marca MAQBRT 40x20. Foram moídos cerca de 200 kg de blocos de concreto, 200 kg de blocos cerâmicos e 340 kg de argamassa mista.

Estes entulhos básicos foram armazenados em caixas no laboratório do PCC. Parte dos entulhos compostos foram misturados conforme tabela 1, para a realização dos ensaios de caracterização, acrescidos de uma quantidade de areia igual em massa para cada tipo de entulho composto.

Com isso foi feita a caracterização adequada dos materiais da melhor maneira para o preparo das argamassas, que estão designadas conforme tabela 2.

3.2. Caracterização dos materiais

Os agregados foram caracterizados conforme normas brasileiras, da ABNT. Os ensaios realizados são: massa unitária, segundo NBR-7251 (ABNT, 1982); granulometria, segundo NBR-7217 (ABNT, 1982); absorção de água, segundo NBR-9777 (ABNT, 1997); inchamento, segundo NBR-6467 (ANBT, 1954); impurezas orgânicas, segundo NBR-7220 (ABNT, 1982) e teor de materiais pulverulentos, segundo NBR-7219 (ABNT, 1982).

Os resultados dos ensaios de massa unitária, absorção de água, impurezas orgânicas e teor de materiais pulverulentos estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3- Resumo de ensaios de caracterização.

AGREGADO	Massa unitária (kg/dm³)	Absorção de água (%)	Teor de materiais pulverulentos (%)	Impurezas orgânicas
AREIA	1,45	0,48	0,89	ACIMA
Blocos de concreto	1,17	NF	6,87	NORMAL
Blocos cerâmicos	1,38	NF	14,55	NORMAL
Argamassa	1,17	NF	11,70	NORMAL
AABO	1,47	3,33	NF	NF
AABC	1,41	5,30	NF	NF

NF significa não feito.

Embora acima do normal, as impurezas orgânicas na areia não afetarão o desempenho das argamassas em curtas idades, além do qual era a única areia disponível no laboratório.

Os resultados dos ensaios de inchamento e granulometria dos agregados serão mostrados em forma gráfica, no anexo 1.

O cimento foi caracterizado pela sua massa unitária, que corresponde a um valor de 1,097 kg/dm³, segundo NBR-7251 (ABNT, 1982).

3.3. Ensaios no estado fresco

Os ensaios no estado fresco que foram propostos a fazer são: consistência, segundo NBR-7215 (ABNT, 1979); densidade de massa aparente, segundo NBR-13278 (ABNT, 1995) e umidade das argamassas, método utilizado no laboratório.

Para o preparo das argamassas, quando estas contém entulho, primeiramente é colocado a água de amassamento e os agregados, misturando por 1 minuto e descansando por mais 10 minutos. Decorrido esse tempo, acrescenta o cimento, mistura em velocidade baixa por 30 s, aumentando para a velocidade alta nos próximos 60 s, deixando descansar por 90 s, para então retomar a mistura em velocidade alta por mais 60s.

Quando a argamassa não contém entulho, ou seja, forem as de referências, primeiramente é colocado o cimento com a água de amassamento, misturando por 30 s, acrescentando a areia e misturar por 30 s em velocidade baixa, aumentando a velocidade para a alta nos próximos 30 s, deixando em repouso por 90 s, para retomar a mistura em velocidade alta por mais 60 s.

O tempo de 10 minutos para as argamassas que continham entulho se deve essencialmente ao fato de que com este tempo, cerca de 95% da água de absorção seja absorvida, sendo o restante da água utilizada pelo cimento na hidratação.

O único ensaio que foi realizado até o momento é o ensaio de consistência, que foi fixado em 180 ± 10 mm, sendo que os resultados estão ilustrados na tabela 4.

Os valores de água/cimento corrigidos (a/c corrigido), são os valores da relação água cimento (a/c), subtraída da absorção dos agregados.

Tabela 4- Resultados do ensaio de consistência nas argamassas para o contrapiso.

	Traço (¹)	Umidade (%)	Consistência (mm)	A/c	A/c corrigida
REF4	1:5,269	12,63	180 ± 2	0,792	0,766
ABO4	1:5,346	12,95	179 ± 4	0,820	0,643
ABC4	1:5,149	15,40	182 ± 1	0,947	0,674
REF6	1:7,903	13,95	181 ± 2	1,246	1,208
ABO6	1:8,018	13,74	181 ± 4	1,239	0,972
ABC6	1:7,723	15,95	179 ± 2	1,391	0,982

(¹) Traços em massa para cimento:agregados totais.

3.4. Ensaio no estado endurecido

Os ensaios que serão realizados no estado endurecido, na forma de corpos de prova (cp) prismáticos, de dimensões 4x4x16 cm, são o ensaio de flexão segundo norma francesa NF EM 196 (AFNOR, 1990), e o ensaio de compressão simples, efetuado em uma das metades do cp rompidas pelo ensaio de tração, efetuada em uma área de 4x4 cm, segundo NBR-7215 (ABNT, 1979).

Para a realização dos ensaios, que são feitos aos 7 e aos 28 dias, são preparados 6 cps para cada condição de argamassa, totalizando 72 cps prismáticos.

No preparo dos cps, prepara-se a argamassa, e aplica-se em duas camadas, sendo que para cada camada o molde é colocado em um vibrador que aplica 60 golpes em 60 segundos, ilustrado na figura 1. Rasa-se o molde, colocando em seguida um vidro sobre o molde, para que o cp não perca água para o ambiente exterior.



Figura 1 – Vibrador mecânico para moldagem dos cps prismáticos.

A desmoldagem dos cps é feita com 3 dias após a moldagem, tomando o cuidado para não romper nem danificar os corpos de prova, que serão armazenados em local com temperatura e umidade ambientes. A figura 2 ilustra 6 cps prismáticos de argamassa REF4.



Figura 2 – Cps prismáticos desmoldados..

A tabela 5 apresenta os resultados das resistências à tração e compressão das argamassas aos 28 dias.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de resistências à tração e compressão das argamassas aos 28 dias.

Traço	Resistência à tração (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
REF4	3,20	13,01
ABC4	4,89	21,02
ABO4	NV	NV
REF6	1,42	5,67
ABC6	2,82	11,06
ABO6	NV	NV

NV significa que não há nenhum valor ainda.

3.5. Ensaio no contrapiso

OS principais ensaios que são efetuados no contrapiso são os ensaios de resistência de aderência superficiais e à base, segundo NBR-13528 (ABNT, 1995), e compactação, segundo método proposto por BARROS (1991).

Estes ensaios são feitos em placas de contrapiso com dimensões de 50x50x2 cm, moldadas sobre uma placa de substrato padrão de concreto armado.

Na moldagem das placas de contrapisos, é preparada a argamassa conforme item 3.3 relativo aos ensaios no estado fresco. A argamassa é lançada sobre a placa de substrato limitada por meio de um gabarito metálico de dimensões 50x50x2 cm, aplicada em uma só camada, e compactada com um soquete de

madeira com peso de aproximadamente 1 kg, e base com dimensões de 10x10 cm. A placa de contrapiso é então rasada com uma régua metálica, é passada uma desempenadeira de madeira, para retirada das bolhas de ar superficiais, e é passada uma desempenadeira metálica, para deixar a superfície plana e lisa. Retira-se o gabarito e deixa o molde guardado em temperatura e umidade ambiente por 28 dias, para então ser realizado o ensaio.

Nenhum ensaio está disponível no momento, porém estarão concluídos ao término da pesquisa, que se dará em setembro de 2001.

4. PRINCIPAIS CONSTATAÇÕES

Até o presente momento da pesquisa, há várias constatações a respeito da utilização de entulho de obra na confecção de argamassas para o contrapiso.

A primeira constatação que foi feita foi que a água de amassamento para as argamassas que continham entulho, em especial as que continham material cerâmicos, é maior que a água de amassamento utilizada em argamassas contendo apenas areia. Fato observado, pois a absorção dos entulhos é elevada, levando a uma correção na relação água/cimento de argamassas contendo entulho.

Uma outra constatação a ser tratada é o fato das resistências à tração e à compressão de argamassas contendo entulho ser maior que a referência. Isto se dá por que a relação água/cimento corrigida ser menor, por haver ainda cimento não hidratado nas argamassas com entulho, que continham argamassa moída, no caso todos os entulhos utilizaram esta argamassa. O cimento que não estava hidratado provavelmente foi exposto quando a argamassa foi moída, sendo utilizado para hidratação nas argamassas para o contrapiso.

A resistência foi maior, embora há a necessidade de nova moldagem de cps para resistências de tração e compressão com os traços de referências, que apresentaram valores baixos demais, para a comparação, sendo suposto que as moldagens das argamassas de referência não foram concluídas com muito sucesso.

Por fim, aqui não foi apresentado a resistência à tração e à compressão das argamassas contendo agregado AABO (ABO4 e ABO6), mas estes valores estão próximos aos valores das argamassas contendo material cerâmico (ABC4 e ABC6).

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467** **Determinação do inchamento de agregados miúdos para concreto.** Rio de Janeiro, 1954.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215 Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1979.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217** **Determinação da composição dos agregados.** Rio de Janeiro, 1982.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7219** **Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados.** Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7220** **Avaliação das impurezas orgânicas das areias para concreto.** Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7251** **Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária.** Rio de Janeiro, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9777** **Agregados – Determinação da absorção da água em agregados miúdos.** Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13278** **Argamassa para assentamento de paredes e revestimentos de paredes e tetos – determinação da densidade de massa e do teor de ar aprisionado.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528** **Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Determinação da resistência de aderência à tração. Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1995.
- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALIZATION. **Méthod déssais de ciments: Détermination des résistances mécaniques – NF EM 196.** Paris, 1990. Part 1.
- BARROS, MERCIA M.S.B. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais.** São Paulo, 1991. 265p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- CAMARGO, A. Minas de Entulho. **Techne.** v. 3, n. 15, p.15-19, mar./abr. 1995.
- LEVY, SALOMON M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** São Paulo, 1997. Dissertação (mestrado), Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- MIRANDA, LEONARDO F. R. **Estudo de fatores que influem na fissuração de revestimentos de argamassa com entulho reciclado.** São Paulo, 2000. Qualificação (mestrado), Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- PINTO, TARCÍSIO P. Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil. Situação atual. In: **RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.** São Paulo, 1996. **Anais.** Departamento de Engenharia Civil, PCC-USP. São Paulo, 1996. p.159-170.
- ZORDAN, SÉRGIO E. **Entulho da indústria da construção civil.** Página da web: http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccil.htm. São Paulo, 2000.

6. AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço à minha orientadora prof. Dra. Mercia M. S. B. de Barros, que me acompanha desde o início desta jornada, e que não falta em nenhum momento quando necessito de sua ajuda. Ela tem se mostrado uma excelente orientadora e pessoa, no que refere ao tratamento com seus alunos e orientados.

Agradeço também aos meus pais, Mário Turmina, e Teresinha D. M. Turmina, que se prestaram ao apoio sobre os estudos e sobre a pesquisa, além do meu irmão Gustavo A. Turmina, que se prestou no auxílio desta pesquisa sempre que pode.

Sem muitas palavras, estes são os meus agradecimentos.

Anexo 1 – Resultado dos ensaios de granulometria e inchamento dos agregados.

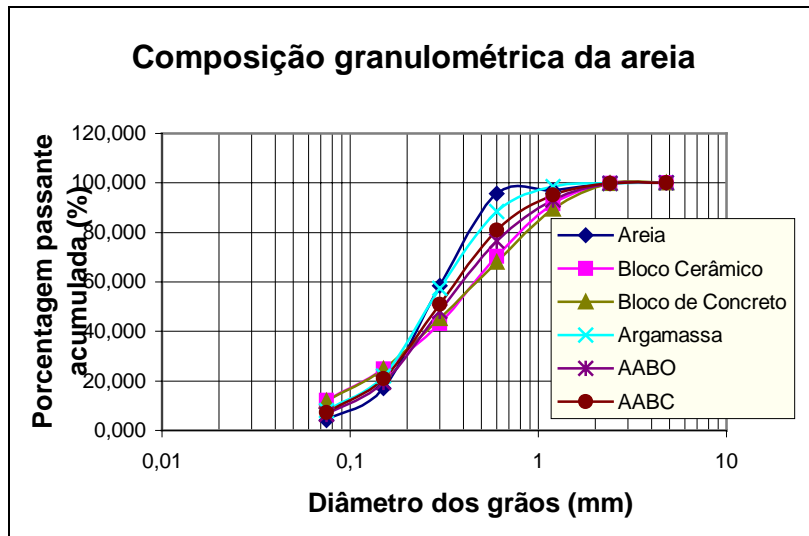


Gráfico 1- Curva granulométrica dos agregados.

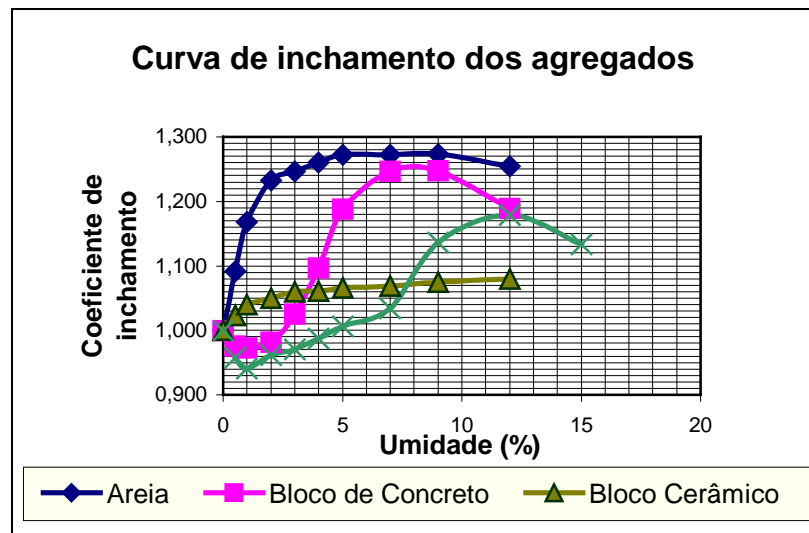


Gráfico 2 – Curva de inchamento dos agregados.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**REAPROVEITAMENTO DO CONCRETO ATRAVÉS DO
CONTROLE DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO COM USO DO
ADITIVO ESTABILIZADOR**

POLETTO, Antônio José Ceribelli (1)

(1) Engenheiro Civil – MBT Brasil - E-mail: ajpoletto@uol.com.br

RESUMO

Segundo estatísticas do Annual Book 1999 da National Ready Mixed Concrete Association, 261 milhões de m³ de concreto foram produzidos nos Estados Unidos em 1997. Deste total, estima-se que entre 1% (2,61 milhões de m³) e 4% (11,4 milhões de m³) de concreto retornaram para as centrais.

Segundo artigo Reciclagem de Concreto Residual em Centrais Dosadoras, de autoria do Eng. Levy Rezende, publicado no site da ABESC (www.abesc.org.br), existem no Brasil cerca de 100 empresas concreteiras que respondem pelo segmento de concreto dosado em central, com um volume médio anual de 15 milhões m³. Esse número representa em média 18% de todo o concreto aplicado nas obras da construção civil. O baixo percentual de concreto usinado é reflexo de uma cultura ainda predominante de se preparar o concreto na própria obra.

Neste mesmo artigo, Eng. Levy Rezende divulga que são gerados mensalmente cerca de 90 mil m³ de entulho de construção. Conforme o autor, estima-se que cerca de 60% deste volume são de despejos clandestinos em terrenos baldios, podendo chegar a um volume total de 144 mil m³ mensais.

Referenciando-se a outro estudo - Análise do Desperdício na Construção Civil Brasileira, coordenado pelo Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP (DECC/USP), aponta para perdas médias de 9% do concreto dosado em central (teoricamente necessário / efetivamente consumido), contabilizado pelas notas fiscais recebidas.

Estimativas da ABESC para a região metropolitana de São Paulo, apontam um volume de cerca de 3.500 m³ a 7 mil m³ de concreto residual são gerados mensalmente nas centrais dosadoras.

Segundo o CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, em seu site, os resíduos da indústria da construção civil representam cerca de 50% do peso total dos resíduos sólidos urbanos gerados nas grandes cidades.

O que fazer para evitar todo este desperdício ?

1. INTRODUÇÃO

O estudo relativo ao controle de hidratação do cimento implica sabermos o objetivo pelo qual foi criado um produto para tal controle. Sabemos que o concreto fresco é um produto perecível que normalmente é transportado, lançado, aplicado e acabado dentro de um tempo relativamente curto. Segundo as normas técnicas, este intervalo não deverá ser superior a 90 minutos com equipamento dotado de agitação. Porém, poderão ser previstas as utilizações de aditivos com intenção de incrementar este tempo. Este tempo é válido desde a adição de água na mistura do concreto até sua aplicação final. Além dos aditivos outros produtos poderão auxiliar a elevação deste tempo como: água gelada, gelo, nitrogênio líquido etc. Como resultado destas limitações de tempo de descarga, produtores de concreto tentam freqüentemente estender o prazo de utilização do concreto, introduzindo aditivos químicos no mesmo. Estes aditivos podem ser plastificantes, retardadores de pega, plastificantes retardadores, ou superplastificantes, ou a combinação destes.

Embora estes aditivos são freqüentemente efetivos para estender o tempo de funcionamento do concreto fresco, este funcionamento exigido adicional é pequeno, pois o tempo se estende a apenas algumas horas.

Devemos lembrar que as reações da água com o cimento se processam logo após a mistura e o concreto deverá ser aplicado até pouco antes do concreto entrar em estado de início de pega (início de endurecimento). Após o início de pega, o concreto perde propriedades, principalmente a resistência. Os aditivos convencionais inibem temporariamente a cristalização do cimento, retardando o início de pega. É de conhecimento, que existem recomendações de dosagem destes aditivos, sendo que superdosagens poderão ou não alterar algumas das propriedades do concreto. O concreto, após o início de pega, não poderá ser aplicado e deverá ser descartado.

Fato ao exposto, houve a necessidade de se desenvolver um produto que tivesse o controle da hidratação do cimento (e conseqüentemente do concreto), sem mudanças das suas propriedades.

Entre inúmeras vantagens na utilização de aditivo estabilizador, ressaltamos três aplicações que consideramos as principais, dentro do objeto de estudo:

- Estabilização da água de lavagem (recuperação do lastro de concreto).
- Estabilização do concreto em estado plástico devolvido.
- Estabilização do concreto fresco para longos trajetos.

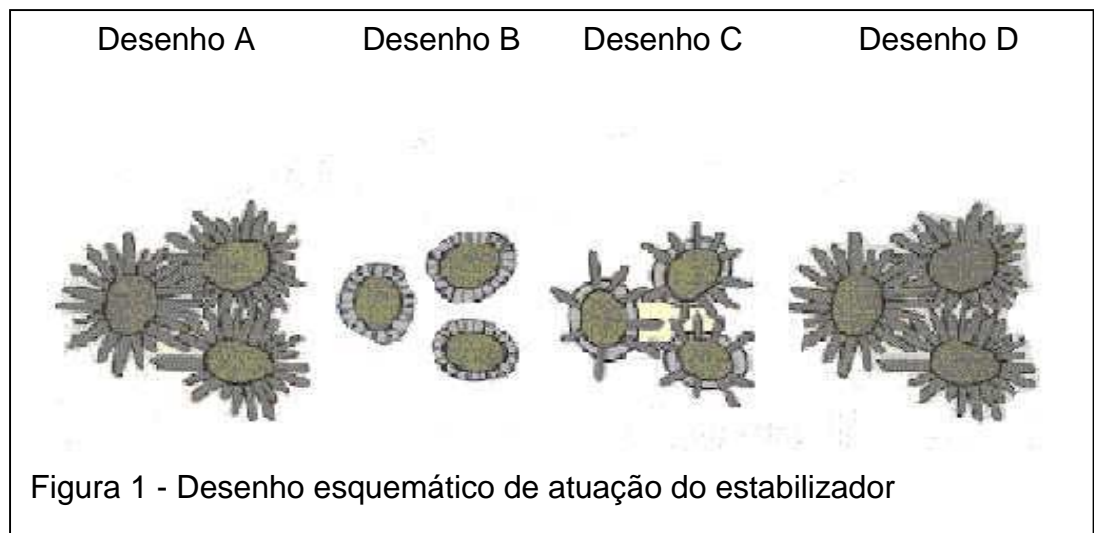
2. ATUAÇÃO QUÍMICA DO ADITIVO ESTABILIZADOR

O cimento é composto de quatro minerais principais: C3S (silicato tricálcico), C3A (aluminato tricálcico), C2S (silicato dicálcico), e C4AF (aluminoferrico tetracálcico). O C3S e C3A são fatores determinantes do desenvolvimento das resistências e das características do tempo de início de pega do concreto. Quando o C3S, C3A e o gesso se combinam com a água, formam hidrato de silicato de cálcio, junto com hidrato de aluminato de cálcio e cal. Estas são estruturas de construção (cristalização) dos sistemas de cimento que formarão uma massa dura por floculação e endurecimento (figura 1 - desenho A).

O aditivo estabilizador controla a velocidade de hidratação ao fixar os íons de cálcio na superfície das partículas de cimento (figura 1 desenho B). O aditivo estabilizador tem uma dupla função: a) controla (detém) a hidratação do cimento ao formar uma barreira protetora, prevenindo que o cimento Portland, as cinzas volantes, a escória granulada e a microssílica alcancem seu início de pega, e b) atua como dispersante, ao oferecer redução de água, melhorando a trabalhabilidade e resistência à compressão.

Com o passar do tempo, o efeito do estabilizador se dissipa ou se consome quimicamente ao se adicionar concreto fresco. Este processo resulta em uma perda da barreira química protetora que se forma ao redor das partículas de cimento.

Após a perda da barreira química, começa a hidratação normal do cimento, com o início de pega e desenvolvimento das resistências (figura 1 - desenho C e D).



3. CAMPOS DE UTILIZAÇÃO DO ADITIVO

A avançada tecnologia do aditivo estabilizador para o controle da hidratação do cimento é a solução para os problemas do desperdício do concreto e da água de lavagem (lastro de concreto).

É indesejável que o concreto devolvido às centrais, como também que o lastro de concreto não sejam convertidos em um problema ambiental. Tem-se implementado cada vez mais controles restritos pelas agências ambientais, objetivando reduzir a poluição ambiental dos resíduos de concreto. A utilização de aditivos estabilizadores podem, além de reduzir os problemas ambientais, proporcionar um incremento de rentabilidade.

3.1. Aplicação do Aditivo Estabilizador em Água de Lavagem Dentro de Unidade de Reciclagem

As centrais de concreto buscam o reaproveitamento da água de lavagem do concreto premisturado de maneira efetiva, econômica e ambientalmente correta.

Reaproveitamento do lastro de concreto

Objetivo

- a) Parar o processo de hidratação do resíduo de concreto existente dentro do balão da betoneira durante um período de tempo desejado – algumas horas, ou até mesmo 02 dias (fim de semana).
- b) Evitar incrustações de concreto nas facas do balão do caminhão betoneira, mantendo-os limpos e conservados interiormente, garantindo uma melhor homogeneidade da carga e custos menores com manutenção.

Por exemplo, um caminhão betoneira vazio, após descarga do concreto, contém entre 200 a 300 kg de sólidos (cimento, areia e pedra) e usualmente, utiliza-se de 500 a 1200 litros de água por caminhão para lavar estes resíduos sólidos, ao final do dia (média de 3 viagens/dia).

Hoje os métodos convencionais para eliminar o lastro de concreto e água de lavagem são:

1. Na própria Obra;
2. Em terreno Bota-Fora;
3. Pátio da Usina de Concreto;
4. Em Fossa especial;
5. Unidade de Reciclagem

Independente dos critérios tomados, haverá o desperdício tanto dos sólidos como da água utilizada para lavagem do lastro em cada carga. Tomando-se como análise o desperdício do processo atual de água de lavagem de lastro, tomaremos alguns números para ilustrar:

DESPERDÍCIO DE MATERIAL DO LASTRO

Por caminhão – 200 a 300 kg de sólidos:	150 litros
Por dia (média 03 viagens / dia):	450 litros
Por ano*:	126 m3

DESPERDÍCIO DE ÁGUA DE LAVAGEM

Por caminhão / dia:	800 litros
Por ano*:	224.000 litros

* Um ano baseado em 280 dias de trabalho

Procedimentos para o reaproveitamento do lastro

Para a estabilização do lastro de concreto durante a noite ou por todo o fim de semana é importante seguir os seguintes passos:

1. Após a descarga do concreto na última viagem do dia, certificar que exista apenas o lastro no balão do caminhão betoneira;
2. Adicionar 200 litros de água, sendo preferencialmente 50 litros na obra tomando o cuidado de lavar bem as primeiras facas do balão e 150 litros na usina;
3. Colocar 02 litros do aditivo estabilizador, para estabilizar o lastro de concreto por uma noite e 03 litros para estabilizar o lastro em fins de semana ou feriados (dois dias).
4. Girar o balão da betoneira no sentido carga e da descarga por 5 vezes;
5. Deixar bater por 03 minutos no sentido da carga em velocidade máxima;
6. Estacionar o caminhão para outro dia.

Importante:

7. Proceder aos fins de semana ou a cada 15 dias a lavagem do lastro juntando 500 kg de brita. Seguir os passos de 1 a 6 e ao final bater a mistura por mais 15 minutos o balão no sentido de carga.
8. No dia seguinte ou depois do fim de semana, no momento da primeira carga do dia certificar a existência de água de lavagem (200 litros) e/ou 500 kg de brita. Deverá deduzir as quantidades na hora da dosagem.

Os lastros das cargas durante todo o dia não deverão ser descartados, serão mantidos em todas as viagens 50 litros de água resultantes da lavagem das primeiras facas que deverão ser deduzidos na hora da dosagem.

Benefícios do reaproveitamento da Água de Lavagem

- Reduz ou elimina o desperdício de água de lavagem de concretos;
- Mantém os caminhões betoneira limpos, reduzindo os custos de demolição do concreto endurecido dentro do balão;
- Reduz os custos de mão de obra de limpeza de pátio na usina;
- Reduz o Custo de Água;
- Elimina os problemas de meio ambiente devido ao desperdício e despejo do lastro;
- Reduz os custos de material permitindo uma redução de cimento de x kg por metro cúbico de concreto na primeira viagem do dia, devido melhorias de desempenho no fator Resistência.;
- Melhora a qualidade geral do sistema, pois existe a obrigatoriedade do controle da quantidade de água existente no interior do balão por parte dos motoristas;
- Facilita a rastreabilidade no caso da ocorrência de falhas;
- Eleva o nível técnico dos funcionários envolvidos no processo.

Análise do custo diário (março de 2001)

Fator – Tempo do Motorista

	Convencional	Com aditivo estabilizador
Tempo desperdiçado (minutos)	45 minutos	20 minutos
Custo por caminhão	R\$ 4,50	R\$ 2,00
Diferença: R\$ 2,50 / caminhão		

Fator – Custo de Água

	Convencional	Com aditivo estabilizador
Desperdício de Água	800 litros	0 litros
Custo por caminhão	R\$ 2,50	R\$ 0,00
Diferença: R\$ 2,00 / caminhão		

Fator – Material do Lastro

	Convencional	Com aditivo estabilizador
Desperdício de Lastro (apenas MP)	450 litros (200 kg/viagem)	0 litros
Custo por caminhão	R\$ 82,00	R\$ 0,00
Diferença: R\$ 36,90 / caminhão		

Custo total do desperdício:	R\$ 41,50 / caminhão / dia
------------------------------------	-----------------------------------

Média 03 viagens por dia

3.2. Estabilização de Concreto Devolvido

3.2.1. Método de utilização

A seguinte descrição se refere a uma aplicação do aditivo estabilizador, para estabilização do concreto que é devolvido em estado plástico à usina, antes do início de pega do concreto, que permite sua reutilização sem alteração das propriedades do concreto. A estabilização poderá ocorrer por alguns minutos, algumas horas, durante à noite, ou até mesmo por um fim de semana (dois dias).

A quantidade de concreto devolvido em estado plástico, a sua temperatura, a idade do início de pega do concreto e o traço (consumo de cimento e tipo de cimento) são cruciais para determinar a quantidade de aditivo requerida para produzir o período de estabilização do concreto.

A disposição do concreto devolvido em estado plástico tem se tornado um grande problema para a indústria do concreto dosado em central, pois não se encontram mais locais apropriados para a disposição do concreto, principalmente nas grandes cidades. Para explicar quanto é grande o problema, em 1994, nos Estados Unidos se produziram 193,1 milhões de metros cúbicos de concreto, e aproximadamente 7,65 milhões de metros cúbicos foram devolvidos. O objetivo é reduzir os problemas econômicos e ambientais de desperdício de concreto devolvido em estado plástico à usina de concreto.

Alguns métodos convencionais para dispor o concreto devolvido tem sido adotados, como:

- Juntar o concreto devolvido com concreto novo;
- Pavimentar o pátio da usina de concreto;
- Produzir produtos de concreto (blocos, pisos sextavados, etc.);
- Utiliza-los em unidades para reciclar o concreto;
- Encaminhamento para aterros sanitários ou terrenos baldios.

A seguir, é descrito como reutilizar o concreto devolvido em estado plástico, de duas formas:

- Estabilização do Concreto devolvido com utilização no mesmo dia (same-day)
- Estabilização do Concreto devolvido com utilização no dia seguinte (overnight)

Para determinar a dosagem de aditivo estabilizador é importante saber a quantidade de concreto devolvido no estado plástico, temperatura do concreto, idade de início de pega, tipo de cimento e consumo de cimento, que é detalhado a seguir.

Quantidade de concreto devolvido

Existem várias maneiras de estimar a quantidade de concreto devolvido a usina.

Uma delas é através do uso de **Balanças de Pesagem** (figura 2). Uma vez conhecido o traço de concreto é fácil sabermos a quantidade exata de concreto.



Figura 2

Outra maneira, é estimar o volume de concreto através do **Sistema de Barras Soldadas** (Figura 3)



Figura 3



Ou ainda através de **Transferência**, tendo um ponto de descarga e um recipiente de volume conhecido como mostra a figura 4.

Figura 4

Outras maneiras poderão ser adotadas como a **Contagem** de facas cheias do balão ou a utilização de uma **Régua Graduada** no interior do balão.

Tempo de início de pega do concreto

Sua determinação se dará em laboratório, convém ensaiarmos o concreto com vários consumos de cimento, e quantidades diferentes de aditivo plastificante utilizados nos traços de concreto.

Traço de concreto

Consumo de cimento do traço, tipo de cimento, e tipo(s) de aditivo(s) utilizado(s).

Temperatura do concreto

Por simples determinação com utilização de termômetro de temperatura.

NOTA : Com as determinações destes parâmetros, tabelas de dosagem do aditivo estabilizador poderão nos auxiliar. Convém portanto, ensaios preliminares em laboratório e práticos (em campo), para ajustes destas tabelas, caso necessários.

3.2.2. Estabilização do Concreto Devolvido com utilização no mesmo dia (same-day)

A estabilização do concreto devolvido para sua utilização no mesmo dia requer uma dosagem como indicado na tabela anexa, levando em consideração os fatores descritos anteriormente. A reativação deste concreto se dará quando para cada metro cúbico estabilizado juntarmos com um metro cúbico de concreto fresco sem a dosagem usual de aditivo plastificante.

3.2.3. Estabilização do Concreto Devolvido com utilização no dia seguinte (overnight)

A estabilização do concreto se dará, levando-se em conta os fatores descritos anteriormente.

Concretos plásticos que retornam para a usina no final do expediente, antes do início de pega do concreto, receberão dosagem conforme tabela anexa, e este permanecerá em estado plástico até o dia seguinte, quando será reativado. A reativação se dará quando para cada metro cúbico de concreto estabilizado juntarmos com dois metros cúbicos de concreto fresco sem a dosagem usual do aditivo plastificante.

DELVO CHART GENERATOR

(Metric Version)

Hit the CTRL and D characters simultaneously to start program.

Concrete Batching Temp, C	Initial Set Time, hrs.	Is Fly ash present?	Is an Accelerator present?	Cement Factor, kg/ m	Concrete Volume to be Stabilized, cu. m.
20	5,0	s	n	275	2

Temp	12,8	18,3	23,9	29,4	35
Theoretical Set Time	7,1	5,4	4,3	3,5	3,0

COMPANY NAME: GERAL DO CONCRETO

LOCATION: USINA BARRA FUNDA

SAME DAY DOSAGE CHART, ml./ 100 kg.

Temp C	Age (hrs)				
	>1-1.5	>1.5-2	>2-2.5	>2.5-3	>3-3.5
32-36	587	913	*	*	*
27-31	391	717	1043	*	*
22-26	196	456	717	1043	1369
17-21	130	261	456	717	1043
12.-16	65	130	261	456	717

SAME DAY DOSAGE CHART, ml./ concrete vol., cubic meter(s)

Temp C	Age (hrs)				
	>1-1.5	>1.5-2	>2-2.5	>2.5-3	>3-3.5
32-36	3228	5021	*	*	*
27-31	2152	3945	5738	*	*
22-26	1076	2511	3945	5738	7531
17-21	718	1435	2511	3945	5738
12.-16	359	718	1435	2511	3945

* Stabilization NOT recommended.

NOTES:

- 1) Take CONCRETE TEMPERATURE.
- 2) Add sufficient water to the returned concrete to get within 15-18 cm slump range prior to stabilization.
- 3) Add required amount of DELVO Stabilizer to the returned concrete and mix for 5-7 minutes.
- 4) Batch fresh concrete within 1/2 hour of stabilization, unless otherwise specified. For every 1 cu. m. of stabilized concrete, a minimum of 1 cu. m. of fresh concrete must be batched on top.m. of fresh concrete must be batched on top.

COMPANY NAME

0

LOCATION

0

OVERNIGHT DOSAGE CHART, ml./ 100 kg.

Temp C	Age (hrs)				
	>1-1.5	>1.5-2	>2-2.5	>2.5-3	>3-3.5
32-36	2347	3423	*	*	*
27-31	1663	2869	3912	*	*
22-26	929	1976	2869	3912	4792
17-21	782	1218	1940	2869	3912
12.-16	424	652	1174	1940	2869

OVERNIGHT DOSAGE CHART, ml./ concrete vol., cubic meter(s)

Temp C	Age (hrs)				
	>1-1.5	>1.5-2	>2-2.5	>2.5-3	>3-3.5
32-36	12910	18827	*	*	*
27-31	9145	15779	21516	*	*
22-26	5111	10870	15779	21516	26358
17-21	4304	6699	10669	15779	21516
12.-16	2331	3586	6455	10669	15779

* Stabilization NOT recommended.

NOTES:

- 1) Take CONCRETE TEMPERATURE.
- 2) Add sufficient water to the returned concrete to get within 15-18 cm slump range prior to stabilization.
- 3) Add required amount of DELVO Stabilizer to the returned concrete and mix for 5-7 minutes.
- 4) For every 1 cu. m. of stabilized concrete, a minimum of 2 cu. m. of fresh concrete must be batched on top.m. of fresh concrete must be batched on top.
- 5) Be wary of any overnight value less than 650 ml./ 100 kg.!!!

Benefícios da Estabilização do Concreto Devolvido

- Elimina o uso de unidades para reciclar concreto e seus altos custos de manutenção contínuos;
- Reduz o desperdício de concreto devolvido que pode resultar em gastos excessivos de mão de obra, e desgaste de maquinaria e equipe;
- Elimina custos com Bota-Fora;

- Elimina conflitos com agências nacionais de controle ambiental devido à disposição de concreto devolvido;
- O concreto tratado com o aditivo estabilizador resulta em características de desempenho superiores ou iguais aos do concreto de referência fabricado de maneira normal.

Análise do custo

Com o uso do aditivo estabilizador, teremos um aumento da rentabilidade do concreto, como mostra a seguir:

Aumento da Rentabilidade por m3

(Em Reais)	Concreto	<u>Concreto</u>	<u>Estabilizado</u>
<u>Consumo = 300 kg/m3</u>	<u>Normal</u>	<u>Mesmo Dia</u>	<u>Durante a Noite</u>
Custo do Material	R\$ 85,00	Aditivo	Aditivo
Custo do Processo	R\$ 45,00	R\$ 45,00	R\$ 45,00
Custos Totais	R\$ 130,00	R\$ 57,00	R\$ 69,00

Venda

Preço do Concreto	R\$ 140,00	R\$ 140,00	R\$ 140,00
Lucro m3	R\$ 10,00	R\$ 83,00	R\$ 71,00
% Lucro / m3	+/- 7,0%	+/- 59 %	+/- 51%

*** Informação baseada no custo médio de materiais para produzir um m3 / na Grande São Paulo / Março-2001**

3.2.4. Aplicação do estabilizador para concretos em Trajetos Longos

Os fabricantes de concreto entregam os concretos em um território limitado por tempo de entrega. Grandes distâncias poderiam criar problemas aos fabricantes de concreto. Desta maneira, obras de responsabilidade deixam de ser atendidas por concretos usinados. Levando-se em conta as dimensões de nosso país, temperaturas ambientes elevada, tem-se como solução a utilização do estabilizador.

O estabilizador pode juntar-se ao concreto recém misturado e fazer o concreto “dormir” por um determinado tempo. A hidratação do cimento será detida temporariamente, não gerará calor e manterá por horas o abatimento do concreto. Ao final do período de hidratação ocorre normalmente suas reações, como se o concreto tivesse sido executado sua mistura naquele momento.

Ensaio em laboratório deverão ser previstos para definição da melhor dosagem do concreto. A seguir, exemplos de concreto à longas distâncias (Figura 5 e 6).



Figura 5

Projeto: Microwave Tower footing - U.S. Dept. of Energy

Local: Monument Valley, UT

Distância: 400 km = 8 horas

Figura 6

Projeto: Concretagem de de defensas

Local: Ilhas Key West

Distância: 30 km = 6 horas

Benefícios do uso do estabilizador em concretos entregues as longas distâncias.

- Elimina a necessidade de centrais próximas a obra;
- Estendem a área (território) de entrega;
- Reduz ou elimina os custos com métodos convencionais;
- Efeitos controlados em temperatura ambiente elevada.

4. CONCLUSÃO

A tecnologia de controle da hidratação do cimento é uma alternativa econômica de reaproveitamento, tanto para Água de Lavagem do Concreto (lastro), como o concreto devolvido em estado plástico. Esta Tecnologia foi desenvolvida para oferecer uma oportunidade aos fabricantes de concreto implementarem um programa de desperdício zero.

Os maiores problemas deste século serão a falta de água e a proteção do meio ambiente.

Desde já precisamos nos conscientizar em desenvolver tecnologia para um melhor aproveitamento de nossos recursos hídricos, e em não agredir o meio ambiente.

A responsabilidade é de todos, cidadãos, empresas e governo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Estabilizacion Del Hormigón – Carlos Mata Need – MBT Venezuela

Aplicaciones de Delvo Estabilizador en Hormigón - Hilda Rosignuolo – MBT Argentina

Delvo Chart Generation – Fernando Fernandez – MBT USA

Concrete recycling with additive stabilizer – Daniel Constantiner – MBT USA

Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.02 – Concrete and Aggregates, American Society for Testing Materials.

Laboratories Investigation - Additive stabilizer utilization – Nmai, CK – MBT USA

Annual Book 1999 – National Ready Mixed Concrete Association



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

RESÍDUO CERÂMICO COMO ADITIVO MINERAL EM CONCRETO

CORDEIRO, Guilherme Chagas (1); **VAILLANT**, João Marcos Miranda (2);
DÉSIR, Jean Marie (3)

- (1) Engenheiro Civil, Mestrando do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense, LECIV-UENF. Av. Alberto Lamego, 2000. Horto. Campos dos Goytacazes-RJ. CEP 28015-620. E-mail: gcc@uenf.br
- (2) Engenheiro Civil, Doutorando do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense, LECIV-UENF.
e-mail: vaillant@uenf.br
- (3) Engenheiro Civil, Prof. Doutor do Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense, LECIV-UENF
e-mail: jean@uenf.br

RESUMO

Neste trabalho busca-se viabilizar uma técnica de recuperação de resíduos da indústria cerâmica do Município de Campos dos Goytacazes/RJ que, após reciclagem, poderiam ser utilizados na construção civil. Resultados de pozolanicidade obtidos para estes resíduos cerâmicos são comparados com os de uma pozolana obtida de forma refinada a partir da ativação térmica de uma argila caulinítica, proveniente de uma jazida do município. Também foram realizados ensaios em argamassa e em concreto com substituição parcial do cimento pelas pozolanas, que apresentaram bons índices para os parâmetros analisados.

1. INTRODUÇÃO

O Município de Campos dos Goytacazes, que ocupa uma área de 4037 km², predominantemente composta por planícies, na região Norte do Estado do Rio de Janeiro, tem a cerâmica vermelha como uma de suas principais atividades econômicas. Atualmente, encontram-se em funcionamento cerca de 100 indústrias sindicalizadas que fabricam tijolos e telhas utilizando como matéria-prima solos argilosos da planície de inundação do Rio Paraíba do Sul.

Do total anual produzido estima-se em torno de 10% (SABOYA Jr. *et al.*, 2000) a geração de resíduos na queima e no manuseio dentro da própria cerâmica. Tal fato, além de significar perda econômica, implica em questões ambientais, uma vez que não estão sendo reutilizados pela indústria.

Neste trabalho são apresentados e discutidos alguns aspectos relativos à adição e influência de um aditivo mineral, obtido a partir da moagem de resíduos de tijolos, na confecção de argamassas e concretos. O resíduo, quando finamente moído apresenta grande pozolanicidade, reagindo com o hidróxido de cálcio, formado durante a hidratação do cimento, contribuindo ainda mais para a durabilidade do concreto, principalmente em ambientes ácidos (NEVILLE, 1997). Esta adição, além de possibilitar a reciclagem de um resíduo sólido, permite produzir concretos e argamassas com um desempenho igual ou superior aos convencionais.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização dos ensaios utilizou-se materiais empregados na construção civil do município: cimento composto com escória, areia natural quartzosa e brita granítica, além de Areia Normal Brasileira. Na confecção dos concretos foi empregado um aditivo superplastificante a base de melamina-formaldeído.

2.1. Cimento Portland

Durante todo o estudo foi usado cimento CP II 32 – E (Tabela 1), obtido de um único lote de fabricação. Isto permitiu uma comparação mais precisa dos aditivos minerais testados.

Tabela 1 – Características do cimento CP II 32 – E.

Análise física e mecânica		Análise química (%)	
Peneira 0,075 mm	2,50 %	MgO	1,50
Peneira 0,075 mm	12,30 %	CaO _{livre}	2,00
Finura Blaine	317 m ² /kg	SO ₃	2,82
Início de pega	03 h 19 min	Resíduo insolúvel	0,59
Fim de pega	04 h 30 min	Perda ao fogo	4,15
Massa específica	3140 kg/m ³		
Resistência aos 03 dias	24,10 MPa		
Resistência aos 07 dias	29,50 MPa		
Resistência aos 28 dias	37,10 MPa		

2.2. Agregados

Utilizou-se nos ensaios de argamassa e pozolanicidade Areia Normal Brasileira (NBR 7214, 1982). Já, para a confecção dos concretos, foi empregada areia natural quartzosa extraída do Rio Paraíba do Sul. A brita utilizada também é própria do município, oriunda de um maciço granítico localizado no Morro do Itaoca. A Tabela 2 contém as características físicas dos agregados utilizados.

Tabela 2 – Características dos agregados.

Agregado miúdo		Agregado graúdo	
Abertura da peneira (mm)	Material retido acumulado (%)	Abertura da peneira (mm)	Material retido acumulado (%)
6,30	0,0	25,0	0,0
4,80	1,7	19,0	3,4
2,40	15,5	9,50	80,1
1,20	45,7	4,80	97,7
0,60	68,5	2,40	99,8
0,30	92,1	fundo	100,0
0,15	99,3	Diâmetro máximo	19,0 mm
fundo	100,0		
Diâmetro máximo	4,8 mm	Módulo de finura	6,82
Módulo de finura	3,23	Massa específica	2648 kg/m ³
Massa específica	2604 kg/m ³	Forma	cúbica
Classificação*	Areia grossa	Classificação*	Brita 1

* Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7217 (1987).

2.3. Aditivo Superplastificante

Um aditivo superplastificante, condensado sulfonado de melamina-formaldeído (Tabela 3), foi utilizado para reduzir a relação água/aglomerante sem alterar a propriedade de trabalhabilidade do concreto. Foi utilizada uma dosagem de 2% em relação a massa de cimento.

Tabela 3 – Características do aditivo superplastificante.

Massa específica (kg/m ³)	1120
pH	9,0
Percentual de sólidos	20,0
Cor	Levemente amarelado

2.4. Aditivos Minerais

O uso de aditivos minerais com atividades pozolânicas em substituição parcial do cimento propicia o aumento da resistência e maior durabilidade de concretos e argamassas. Foram empregados nesta pesquisa dois aditivos, compostos basicamente da mesma matéria-prima, argila caulínica. O metacaulim utilizado (Tabela 4) foi produzido em laboratório, com condições

controladas (CORDEIRO, 2001). Já o resíduo de tijolos, sofreu apenas moagem e peneiramento.

Tabela 4 – Características do metacaulim.

Massa específica (kg/m ³)	2440
Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (%)	90,0
Superfície específica Blaine (m ² /kg)	6800
Perda ao fogo (%)	4,74
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	90,65

A argila caulinitica quando calcinada sofre, por volta de 500°C, uma reação de desidroxilação, formando um alumino-silicato de estrutura amorfa, conforme a Equação 1 (SANTOS, 1992). Esta reação ocorre nos dois aditivos, pois os tijolos são produzidos pela queima em fornos contínuos (tipo Hoffman), com temperaturas entre 600°C e 800°C, e o metacaulim utilizado, possui à 650°C sua temperatura ideal de ativação (CORDEIRO, 2001).



Segundo KHATIB e WILD (1996), o metacaulim, em substituição parcial do cimento, reage com o hidróxido de cálcio, formando um gel suplementar de silicato de cálcio hidratado, que contribui para o refinamento dos poros e o aumento conseqüente da resistência.

O Resíduo de Tijolos Moídos (RTM no decorrer do texto), material inerte não agressivo ao meio ambiente, classificado como Classe III (NBR 10004, 1987), foi coletado de acordo com procedimentos normalizados (NBR10007, 1987; NBR 13463, 1995).

A matéria prima dos resíduos utilizados foi caracterizada preliminarmente através de análise granulométrica (Figura 1) e difratometria de raio-X e análise termodiferencial (ATD) para confirmação da presença do argilomineral caulinita nas amostras.

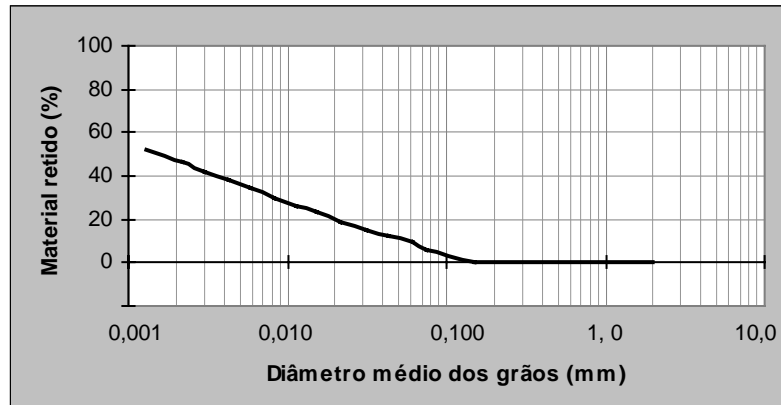


Figura 1 – Curva granulométrica (NBR 7181, 1984) do solo utilizado na cerâmica para produção de tijolos.

Após coleta e caracterização, as amostras de resíduo foram moídas em moinho de bolas (Sonnex, 14 kg/batelada) e peneiradas (malha 0,075 mm) para obtenção do aditivo mineral. A Tabela 5 apresenta as características físicas do RTM.

Tabela 5 – Características do resíduo de tijolo moído.

Massa específica (kg/m ³)	2620
Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (%)	78
Superfície específica Blaine (m ² /kg)	1900

A Figura 2(a) confirma a presença predominante da caulinita na fração argila da matéria-prima, enquanto que na Figura 2(b) observa-se a ausência deste argilomineral, indicando a amorfização do resíduo.

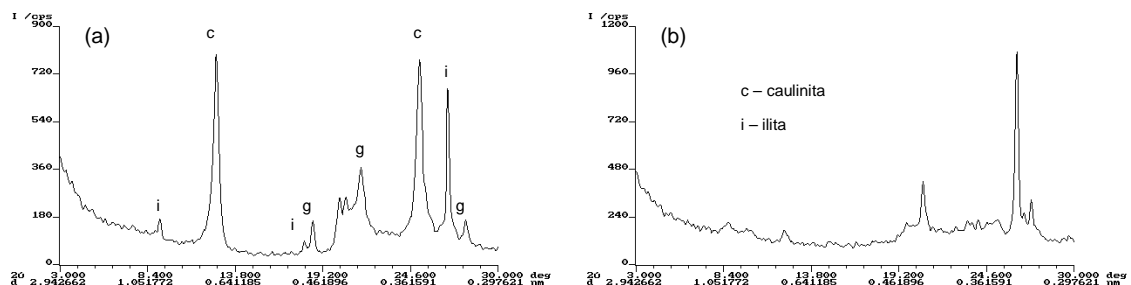


Figura 2 – (a) Difratoograma da matéria-prima argilosa *in natura* revelando a presença da caulinita; (b) difratoograma do resíduo de tijolo moído.

O resultado da análise termodiferencial (Figura 3) é típico de uma argila contendo caulinita e gibbsita, pois apresenta picos endotérmicos indicando perda de OH estrutural, em 495°C e 265°C, respectivamente.

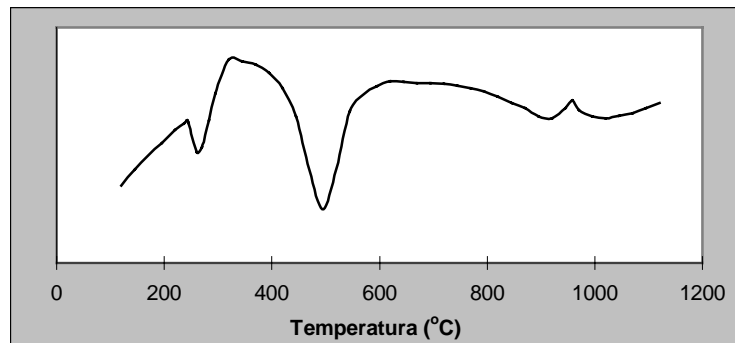


Figura 3 – Resultado da análise termodiferencial.

3. ENSAIOS

Ensaio de pozolanicidade, realizados de acordo com a NBR 5752 (1992) foram realizados com o intuito de se avaliar a potencialidade do aditivo em questão.

Um programa experimental foi então implementado com ensaios em argamassa e em concreto. Foram moldados três corpos de prova para cada idade, com rupturas previstas para 03, 07 e 28 dias. As amostras foram mantidas em cura, imersas em água saturada com cal até uma hora antes dos ensaios de ruptura. Nos ensaios de argamassa utilizou-se um traço 1 : 3 (cimento : areia normal), com uma relação água/cimento de 0,52 como referência. Argamassas com substituições parciais de cimento pelos aditivos, nos teores de 10%, 15% e 20%, foram produzidas para a avaliação da influência destes aditivos na resistência à compressão. As amostras foram confeccionadas conforme procedimentos sugeridos pela NBR 11580 (1991) e a ruptura de acordo com a NBR 7215 (1996), após capeamento com argamassa de enxofre (ABCP, 1994). A Tabela 6 apresenta as dosagens utilizadas nas argamassas.

Tabela 6 – Proporções dos materiais utilizados nos ensaios de argamassa.

Materiais	Quantidade materiais constituintes						
	REF	RTM 10	RTM 15	RTM 20	MTC 10	MTC 15	MTC 20
Cimento (kg)	1,000	0,900	0,850	0,800	0,900	0,850	0,800
Pozolana (kg)	----	0,100	0,150	0,200	0,100	0,150	0,200
Areia Normal (kg)	3,000	2,983	2,975	2,967	2,975	2,964	2,951
Água (ml)	520	520	520	520	520	520	520
Relação a/ag*	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52

* relação água/aglomerante;

REF – argamassa de referência, sem aditivo mineral;

RTM – resíduo de tijolo moído, com o respectivo percentual de substituição do cimento;

MTC – metacaulim, com o respectivo percentual de substituição do cimento.

Os corpos de concretos foram confeccionados a partir do teor ótimo de substituição, obtido nos ensaios com argamassas. A título de verificação dos resultados, corpos de prova de referência foram confeccionados sem aditivo mineral, sendo o concreto dosado com agregados secos em estufa. Os corpos de prova foram rompidos conforme a NBR 5739 (1994).

4. RESULTADOS

O índice de atividade pozolânica com cimento é obtido, em valores percentuais, pela razão entre as resistências médias da argamassa com pozolana e argamassa de referência. Vale ressaltar que as argamassas com pozolanas contêm substituição parcial de 35%, em volume absoluto do cimento utilizado na mistura de referência. A Figura 4 apresenta os valores de índice de atividade pozolânica. Pode-se observar que ambas as pozolanas apresentaram resultados satisfatórios, isto é, valores acima dos 75% estabelecidos como mínimo (NBR 5752, 1992).

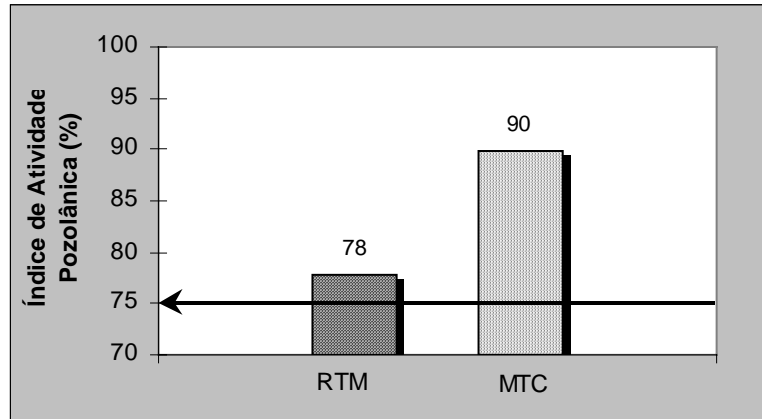


Figura 4 – Índice de atividade pozolânica com cimento Portland.

A influência do teor de adição do resíduo em argamassas está representada na Figura 5. Observa-se uma melhora na resistência à compressão em todos os teores (10%, 15% e 20%), para todas as idades ensaiadas. Os melhores resultados foram obtidos com a substituição de 15% do cimento (em massa) pelo RTM.

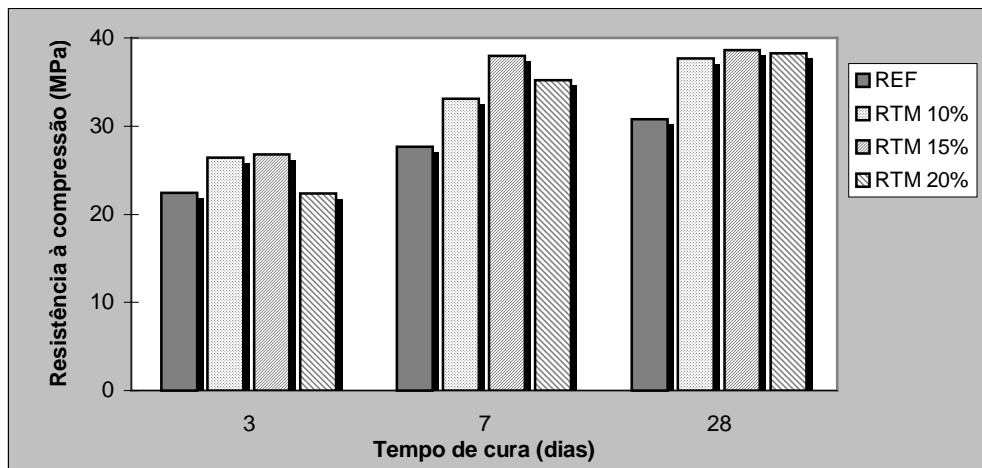


Figura 5 – Valores de resistência à compressão das argamassas com resíduos de tijolo moído e argamassa de referência.

Na Figura 6, as pozolanas são comparadas. O metacaulim apresentou melhores resultados, como era esperado. No entanto, os valores obtidos para as argamassas com resíduos são bastante satisfatórios, tendo em vista que a obtenção desta pozolana é mais simples e menos onerosa, uma vez que sua queima não é necessária.

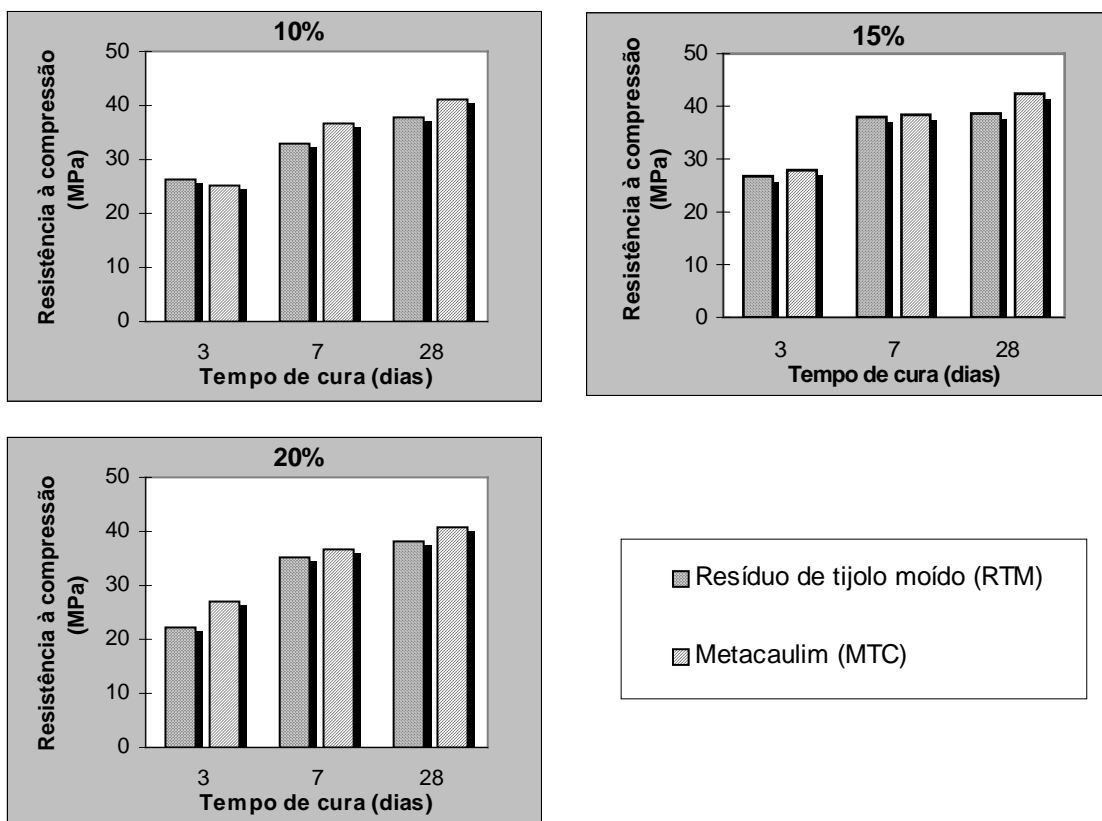


Figura 6 – Valores de resistência à compressão de argamassas com metacaulim e argamassas com resíduo de tijolo moído.

O desempenho do concreto foi verificado para o teor de 15% que apresentou os melhores resultados em argamassas. Para a dosagem utilizou-se o método proposto por O'REILLY (1998). O consumo de cimento utilizado foi de 320 kg/m³, e a relação água/aglomerante mantida em 0,50. As proporções dos materiais utilizados nos concretos encontram-se na tabela 7.

Tabela 7 – Proporções dos materiais utilizados nos ensaios em concreto.

Materiais	Quantidade materiais constituintes	
	Referência	RTM – 15%
Cimento (kg)	6,000	5,100
Pozolana (kg)	----	0,900
Areia (kg)	16,080	16,011
Brita (kg)	19,650	19,570
Superplastificante (ml)	536	536
Água (ml)	2520	2520
Relação a/ag*	0,50	0,50

A Figura 7 mostra os resultados dos ensaios a compressão.

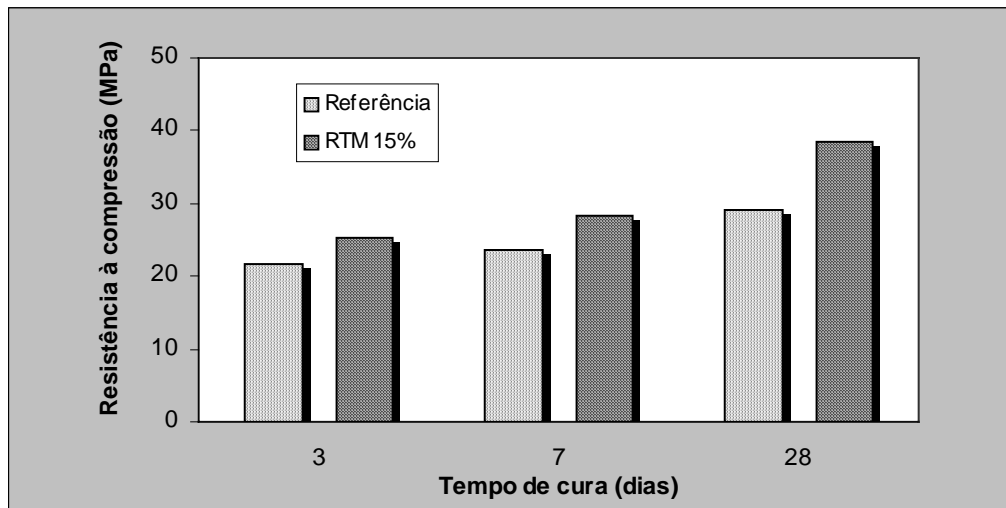


Figura 7 – Representação da resistência à compressão axial dos concretos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diversos ensaios relatados neste trabalho permitiram estudar algumas características do aditivo mineral obtido através do RTM produzido na indústria de cerâmica vermelha de Campos dos Goytacazes.

A análise dos resultados levou a algumas conclusões interessantes:

- A substituição parcial do cimento pelo aditivo propicia uma melhora significativa nas propriedades dos concretos e argamassas. E um fato importante é que essa melhoria vai além do efeito fíler, que aumenta a compacidade da mistura proporcionando um ganho de resistência. Existe também a atividade pozolânica do aditivo que consome parte do hidróxido de cálcio produzido na hidratação do cimento, que vem melhorar a durabilidade dos produtos.
- A utilização do RTM na construção civil oferece uma solução imediata, do ponto de vista ambiental, para a indústria cerâmica que não dispõe de locais específicos para a disposição dos resíduos. De produto indesejável, o RTM poderia passar agregar valores.
- Por outro lado, uma substituição de 15% em massa de cimento representa uma economia apreciável no volume de cimento a ser utilizado numa obra.

Procurou-se, nesta pesquisa, analisar as propriedades mecânicas do aditivo resultante do RTM. Este trabalho não teve a intenção de esgotar o assunto. Outros estudos com tipos diferentes de cimento, de argila e de custo final da produção do aditivo são necessários para se ter uma idéia definitiva do ganho real que significa a substituição parcial do cimento pelo aditivo mineral proveniente do RTM. Estes assuntos estão sendo analisados em outras pesquisas já em andamento no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; **Manual de ensaios físicos de cimento: MT-3**. 85 p., São Paulo, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; **Agregados – Determinação da composição granulométrica: NBR 7217**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Amostragem de resíduos: NBR 10007**; Rio de Janeiro, 1987.

_____. **Areia Normal para ensaio de cimento: NBR 7214**; Rio de Janeiro, 1982.

_____. **Cimento Portland – Determinação da água da pasta de consistência normal: NBR 11580**; Rio de Janeiro, 1991.

_____. **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão: NBR 7215**; Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Coleta de resíduos sólidos: NBR 13463**; Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: NBR 5739**; Rio de Janeiro, 1994.

- _____ **Materiais Pozolânicos – Determinação de Atividade Pozolânica com Cimento Portland – Índice de Atividade Pozolânica com Cimento: NBR 5752**; Rio de Janeiro, 1992.
- _____ **Resíduos sólidos: NBR 10004**; Rio de Janeiro, 1987.
- _____ **Solo – Análise granulométrica: NBR 7181**; Rio de Janeiro, 1984.
- CORDEIRO, G. C.. **O metacaulim como aditivo mineral para concreto de alto desempenho**; Dissertação de mestrado em Ciências de Engenharia. Centro de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes, 2001. *no prelo*.
- KHATIB, J. M., WILD, S.. **Pore size distribution of metakaolin paste**; Cement and Concrete Research, v. 26, n. 10, pp. 1545 – 1553, 1996.
- O'REILLY, V. A.. **Método de dosagem de concreto de alto desempenho**; Editora Pini, São Paulo, 122 p., 1998.
- NEVILLE, A. M.. **Propriedades do concreto**; Editora Pini, São Paulo, 828 p., 1997.
- SABOYA Jr., F., ALEXANDRE, J., TOLEDO, R.. **Aplicação do planejamento em rede simplex para análise de matéria-prima em cerâmicas vermelhas**; *In.*: 44 Congresso Brasileiro de, v. 3, n. 1, São Pedro, pp. 1 – 6, 2000.
- SANTOS, P. S.. **Ciência e tecnologia das argilas**; 2ª ed. Editora Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 408 p., 1992.

7. AGRADECIMENTOS

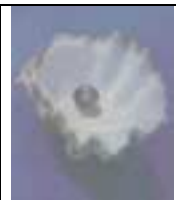
Os autores agradecem à Fundação Estadual do Norte Fluminense pelo financiamento, ao Laboratório de Materiais de Construção do CEFET/Campos pela disponibilização dos equipamentos para os ensaios tecnológicos e à AC Cerâmica Ind. e Com. Ltda. pelo fornecimento do resíduo utilizado.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

MOLHAGEM DOS AGREGADOS DE ENTULHO DE OBRA PARA A EXECUÇÃO DE ARGAMASSA - MELHORA DO DESEMPENHO

GRIGOLI, Ademir Scobin (1)

(1) Mestrando. Universidade de São Paulo, PCC.USP. C.P. 61.548,
São Paulo, 05424-970. ademir.scobin@pcc.usp.br

Palavras-chave: entulho, reciclagem, argamassa - waste material, recycling, mortar.

RESUMO

No uso do entulho de obra, como material de construção, uma das frações deste, é a porção miúda, da qual pode-se proceder a execução de argamassa para diversas finalidades dentro de uma construção. E, para uma eficiência no uso desta argamassa, há a necessidade de se promover alguns procedimentos, para que após a cura da mesma no local de aplicação, apresente uma melhora de desempenho quanto a resistência mecânica, não colocando em risco o desempenho do trabalho executado.

No entulho de obra, qualificado como agregado miúdo, estão presentes os seguintes componentes: a areia na forma natural ou artificial envolvida ou não com porções de elementos cimentantes à base de cimento e cal, oriundas de argamassas ou concretos; assim como também de partículas outras como a de cerâmica vermelha oriundas dos blocos cerâmicos de assentamentos com funções de vedação.

O presente trabalho mostra e compara resultados laboratoriais de resistências mecânicas a compressão simples e a flexão, em argamassas aos 28 dias, obtidos com amostras produzidas sob duas formas distintas, quais sejam: **argamassa sem pré-molhagem**, amostra de argamassa produzida sob uma determinada dosagem onde a quantidade de água para amassamento e aplicação é colocada totalmente durante a operação de amassamento desta argamassa; **argamassa com pré-molhagem**, amostra de argamassa produzida sob uma determinada dosagem (com traço igual a argamassa sem pré-molhagem), só que a quantidade de água de amassamento é colocada para mistura dos aglomerantes e agregados miúdos em duas etapas, sendo uma parte de água colocada inicialmente para umedecer os agregados por 24 horas e outra parte de água colocada quando do efetivo amassamento. Os

corpos de prova foram curados ao ar em laboratório para simular as condições de uso em canteiro de obra.

Os resultados obtidos com relação às resistências mecânicas por compressão simples e a flexão da **argamassa com pré-molhagem**, mostraram-se melhores que os resultados da **argamassa sem pré-molhagem**, onde foram cerca de 32% maior.

1. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar e estabelecer critérios para a obtenção do desempenho das argamassas de entulho reciclável, quanto à sua resistência mecânica a compressão e a flexão, quanto ao uso desta argamassa de entulho com uma determinada pré-molhagem, segundo proporções e trabalhabilidade definidas.

2. JUSTIFICATIVA

A argamassa, executada com resíduo reciclável de obra, principalmente com aplicação na própria obra onde o entulho foi gerado, apresenta alguns problemas operacionais de aplicação, principalmente quando ao aspecto de se estabelecer uma trabalhabilidade adequada e determinar um fator água/cimento adequado.

Devido a ocorrência de inconstância nas proporcionalidades dos elementos que compõem o entulho de obra, fica difícil determinar a quantidade de água que se deve adicionar num traço de argamassa para suprir as necessidades de seus elementos com relação à absorção de água, principalmente quando são envolvidos agregados miúdos recicláveis de argamassa, concretos e agregados recicláveis miúdos de blocos cerâmicos. Então **o desenvolvimento de um estudo que mostre o comportamento da absorção da água pelos agregados da argamassa**, mostra-se justificável, para o seu entendimento de como se proceder no canteiro de obra para se obter melhores resultados.

3. INTRODUÇÃO

Dentro de um canteiro de obra, em suas diversas etapas, são gerados entulhos nas mais variadas formas e quantidades. Segundo GRIGOLI (2000), entulhos gerados podem ser aplicados como material de construção no próprio canteiro onde foi gerado, seja na forma de concreto ou seja na forma de argamassa, podendo ser utilizados em inúmeras etapas e partes físicas da construção.

O fator água/cimento é um complicador na determinação do traço de uma argamassa, executados com entulho reciclável. Considerando existir no entulho reciclável, elementos com altas taxas de absorção de água. A determinação do fator água/cimento, tanto para a argamassa, quanto para o concreto executados com entulhos recicláveis, está vinculada eminentemente à consistência necessária a sua aplicação. Durante o processo de mistura do cimento/cal/areia/água, coloca-se uma quantidade de água, tal que seja suficiente para a mistura, manuseio, aplicação e cura. E, tanto no assentamento, quanto no emboço e reboco, parte da água de amassamento é absorvida pela cerâmica, quando de sua aderência em função da sua alta

porosidade, parte da água é evaporada e parte desta mesma água é absorvida no processo de hidratação dos aglomerantes durante a cura, GRIGOLI (2000).

No caso de uma argamassa executada com a porção miúda do entulho reciclável, observamos ter este material algumas propriedades que influenciam diretamente no resultado final do desempenho da argamassa. Estes materiais pulverulentos, compostos, possuem efeitos pozolânicos resultante da porção miúda, pela presença de finos de cerâmica, e possuem porções de elementos plastificantes ativos, exigindo portanto consideráveis quantidades de água para efetiva hidratação. Esta presença de porções aglomerantes ativas, presentes em entulhos de argamassas. LEVY e HELENE (1997).

O entulho dirigido para a execução e produção da argamassa pode conter areia "in natura", brita triturada "in natura", concreto triturado, argamassa triturada de cimento e areia, argamassa triturada de cimento/cal e areia e blocos de vedação de cerâmica vermelha triturada. O percentual de cada constituinte deste agregado reciclável para argamassa, varia de acordo com cada etapa do cronograma da obra, e, ainda varia consideravelmente de canteiro para canteiro. Cada pesquisador, AGOPYAN (1998), PINTO (1989), BRITO FILHO (1999), neste assunto de reciclagem de entulho em canteiro de obra, cita percentuais diferentes, embora enfocando panoramas idênticos de estudos.

Segundo PINTO (2000), a utilização da reciclagem pelo construtor, de resíduos da própria obra é economicamente viável e vantajosa. E especificamente para o uso de argamassas, tal como GRIGOLI (2000), indica o seu uso para enchimentos, revestimentos e assentamentos gerais de alvenarias, acabamentos de lajes e escadarias, chumbamentos de batentes e contramarcos, assim como também o chumbamentos de instalações elétricas e hidráulicas.

Segundo TAVAKOLI e SOROUSHIAN (1996), um concreto ou uma argamassa executada com resíduos recicláveis, terá reflexo em suas características mecânicas finais, tal como são as características dos materiais a serem reciclados, e, os percentuais de cada fração reciclada utilizada, pode determinar o desempenho final do produto pronto.

Segundo GRIGOLI (2000), no caso de argamassas de resíduos recicláveis, produzidas no próprio canteiro onde o resíduo foi gerado, é imperativo o estabelecimento de critérios para um eficiente manuseio desta argamassa quanto à sua adequabilidade das proporções envolvidas e o seu desempenho esperado.

Segundo CINCOTTO e KAUPATEZ (1988), e RAVERDI et al. (1980), afirmam que as cerâmicas trituradas em argamassas apresentam relativo grau de pozolanicidade, favorecendo o aumento da resistência mecânica ao longo de uma determinada idade de cura. E segundo HAMASSAKI et al. (1996), além da pozolanicidade do sistema cerâmico triturado, tem influência também o "efeito filler" na contribuição do aumento da resistência mecânica ao longo de uma determinada idade de cura.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O traço utilizado foi 1,00 : 2,00 : 6,00 (cimento : cal : agregado miúdo reciclável) em volume. E, em peso foi de 1,00 : 0,89 : 6,91.

O fator água/cimento adotado para o experimento foi de 2,75 kg/kg.

Este traço, é o traço utilizado pelo autor deste trabalho, em suas obras para o assentamento de batentes, enchimento de rasgos de paredes, chumbamentos de tubulações elétricas e hidráulicas, execução de embonecamento de tubulações, remendos e emendas de alvenaria e enchimentos de rebocos internos.

Para este estudo experimental, o agregado reciclável foi mantido o mesmo em todas as argamassas moldadas.

Foram moldadas 07(sete) argamassas , identificadas como **ARGAMASSA I, II, III, IV, V, VI e VII.**

Para cada argamassa ensaiada foram executadas com uma quantidade diferente de água de pré-molhagem absorvida pelos agregados, colocada antes da sua mistura efetiva, mostradas na tabela nº 01.

As pré-molhagens, aconteceram durante 24 horas antes da mistura e amassamento efetivo de cada argamassa.

Tabela nº 01 - Quantidades de água de pré-molhagem

ÁGUA DE PRÉ-MOLHAGEM P/ OS TIPOS DE ARGAMASSAS ESTUDADAS¹						
Tipos	C	P-as	A-Tot	ÁPM-Tot	ABS-Tot	APM-adc
I	1,00	6,91	2,75	1,26	18,41	0,00
II	1,00	6,91	2,75	1,26	18,41	0,21
III	1,00	6,91	2,75	1,26	18,41	0,42
IV	1,00	6,91	2,75	1,26	18,41	0,63
V	1,00	6,91	2,75	1,26	18,41	0,84
VI	1,00	6,91	2,75	1,26	18,41	1,05
VII	1,00	6,91	2,75	1,26	18,41	1,26

¹ - Os valores de C(kg) - peso de cimento por argamassa moldada. P-as(kg) - peso de agregado seco por argamassa moldada. A-Tot(kg) - peso de água por argamassa moldada. APM-Tot(kg) - peso de água necessário para o agregado absorver, segundo a absorção por imersão do agregado. ABS-Tot(%) - absorção por imersão a 22°C dos agregados recicláveis. APM-adc(kg) - peso de água adicionada para cada argamassa .

Observa-se na tabela nº 01 que o incremento de água de pré-molhagem foi sendo adicionado para cada argamassa, de tal forma que na argamassa I, tem 0,00kg de água de pré-molhagem e na argamassa VII, tem 1,26kg de água de pré-molhagem, esta última igual á capacidade máxima de absorção dos agregados reciclados.

Conforme mostra a tabela nº 02, a absorção de água do agregado miúdo reciclável, obtido por imersão a 22°C, utilizado na argamassa é de 18,41%.

Tabela nº 02 - Absorção de água por imersão dos agregados da fração miúda do agregado miúdo reciclável.

ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO DOS AGREGADOS DA FRAÇÃO MIÚDA (%)	
Areia quartzosa	0,00
Brita basáltica	0,59
Argamassa de cimento/cal/areia	21,14
Argamassa de cimento/areia	10,70
Concreto estrutural	8,60
Material cerâmico de blocos de vedação	17,09
Absorção total do agregado miúdo reciclável	18,41

A argamassa executada sem pré-molhagem, consumiu 1,00 kg de cimento, 0,89 kg de cal, 6,91 kg de agregado miúdo reciclável e 2,75 litros de água.

Para cada argamassa, foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos de 5,00 cm de diâmetro por 10,00 cm de altura, sendo 06 corpos de prova para a determinação da resistência à compressão axial, segundo a NBR 7215 (ABNT 1982), 06 corpos de prova para a determinação da absorção capilar às 72 horas segundo NBR 9779 (ABNT 1995). Também foram moldados para cada argamassa 06 corpos de prova para a determinação da resistência à flexão segundo a NBR 12142.

Para cada argamassa moldada, foram determinados a massa específica unitária e o consumo de cimento.

A cura adotada para estes ensaios foi a executada em atmosfera de laboratório, procurando simular o melhor possível as condições de canteiro de obra.

Para todos os traços, adotou-se como padrão, uma quantidade de água de amassamento tal que reproduzisse o melhor possível ao que se pratica no canteiro de obra. Onde o fator água/cimento foi de 2,75. E, para isso a consistência, segundo o disposto para o ensaio na "Flow-table", foi de 300 ± 10 mm. Esta consistência foi adotada para o calculo do fator água/cimento, tomando-se por base a sua aplicação na argamassa com 0% de adição de água de pré-molhagem.

A coleta dos materiais de agregado miúdo reciclável, foram coletados diretamente em canteiro de obra com o peneiramento dos entulhos gerados no canteiro. Não houve trituração dos produtos de entulho no canteiro, foram pegos tal como se encontravam no local, em cuja etapa da obra se promovia o assentamento de blocos cerâmicos de vedação

A tabela 03, mostra as características dos agregados miúdos recicláveis.

Tabela 03 - Composição granulométrica dos agregados miúdos reciclados

ANALISE GRANULOMÉTRICA -NBR 7217/87	
PENEIRA (MM)	PORCENTAGEM (%) RETIDAS ACUMULADAS
4,8	4
2,4	13
1,2	28
0,6	41
0,3	53
0,15	71
0,075	77
FUNDO	100
Dim. Máx. caract. -NBR 7217/87	4,80 mm
Massa unitária - NBR 7251/82	1,32 kg/dm ³
Massa específica - NBR 9776/87	2,51 kg/dm ³
Módulo de finura - NBR 7217/87	1,82
Material pulverulento - NBR 7218/87	31 %

As características da cal utilizada estão mostradas na tabela 04.

Tabela 04 - Características da cal

CARACTERÍSTICAS DA CAL	
Massa específica - NBR 6474/84	2,63 kg/dm ³
Massa unitária - NBR 7251/82	0,66 kg/dm ³
Finura - NBR 9289/85	#30 - 0,40% #200 - 13,2%

O cimento utilizado, foi o Cimento CP II E-32, cujas Características Químicas/Físicas e Mecânicas, estão mostradas na tabela 05. Estes resultados foram fornecidos pela Associação de Cimento Portland.

Tabela 05 - Características Químicas/Físicas e Mecânicas do Cimento

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS/ FÍSICAS E MECÂNICAS DO CIMENTO	
Tipo de Cimento	CP II E-32
Perda ao Fogo	0,98%
Resíduo Insolúvel	0,85%
SO ₃	2,77%
CO ₂	1,63%
S	0,27%
Teor de Clinquer + gipsita	83,00%
Teor de Escória	17,00%
Finura do cimento (NBR 7215/82 - NBR 5732/80)	2,30%
Superfície específica (NBR 7215/82-NBR 7224/84)	3290 cm ² /g
Consistência Normal (NBR 7215/82)	20,54%
Tempo de Início de Pega (NBR 7215/82)	2h 30min
Tempo de Final de Pega (NBR 7215/82)	3h 10min
Expansibilidade a quente (NBR 7215/82)	0,00mm
Resistência aos 3 dias (NBR 7215/82)	23,50 MPa
Resistência aos 7 dias (NBR 7215/82)	29,10 MPa
Resistência aos 28 dias (NBR 7215/82)	38,30 MPa

As características da composição percentual dos agregados estão mostradas na tabela 06

Tabela 06 - Composição percentual dos elementos que compõem os agregados miúdos recicláveis

COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS RECICLÁVEIS²	
ELEMENTOS	(%)
Areia natural quartzosa aluvionar (%)	15
Brita triturada basáltica (%)	4
Concreto estrutural triturado (%)	8
Argamassa Cimento/Cal/Areia (%)	39
Argamassa Cimento/Cal (%)	9
Blocos Cerâmicos (%)	25

² - Estes valores são específicos para a fase de obra trabalhada e pesquisada. Não é para ser extrapolado para outras fases de execução.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Foram ensaiados 07 argamassas cujos traços são exatamente iguais, ou seja foi utilizado 1,00 : 2,00 : 6,00 (cimento : cal : agregado miúdo reciclável) em volume. E, em peso foi de 1,00 : 0,89 : 6,91.

O fator água/cimento adotado para o experimento foi de 2,75 kg/kg.

Foram moldadas 07(sete) argamassas , identificadas como **ARGAMASSA I, II, III, IV, V, VI e VII.**

As variações de uma argamassa para outra são somente nas quantidades de água de pré-molhagem, variando esta água de 0,21 kg de água em 0,21 kg de água, para cada argamassa ensaiada.

Para cada argamassa estudada, foram obtidos os resultados de, resistência a compressão axial aos 28 dias, resistência a flexão aos 28 dias, absorção capilar aos 28 dias, massa específica da argamassa fresca, consumo de cimento e estes valores estão mostrados na tabela nº 07.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nota-se que para todos os ensaios **o fator água/cimento é constante, onde $a/c = 2,75$** , e a **consistência também é constante, em torno de $S = 300$ mm.** A tabela nº. 07, mostra que a consistência permaneceu constante. Isto em função da permanência da superfície dos grãos dos agregados molhadas, dando condições de rolagem das partículas umas sobre as outras.

Os agregados sendo porosos, necessitam de uma grande quantidade de água para tornar a argamassa, viavelmente amassável, e no entanto, esta quantidade de água adicional que é colocada, durante o processo de amassamento, promovem o afastamento dos grãos de agregados, descompactando a argamassa e promovendo aumento de sua porosidade, e minimizando a sua resistência.

Tabela nº 07 - Resultados experimentais obtidos com as argamassa ensaiadas

RESULTADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS COM AS ARGAMASSAS³							
Tipo	APM-a (kg)	ME (kg/m ³)	C (kg/m ³)	RC (MPa)	RF (MPa)	AC (g/cm ²)	Cons. (mm)
I	0,00	1871	161	2,427	0,098	1,87	300
II	0,21	1894	163	2,619	0,109	1,74	296
III	0,42	1909	165	2,911	0,127	1,59	302
IV	0,63	1919	166	3,000	0,147	1,46	304
V	0,84	1924	167	3,207	0,160	1,32	296
VI	1,05	1937	168	3,040	0,143	1,26	300
VII	1,26	1956	169	2,799	0,113	1,19	301

Tendo-se o valor do fator água/cimento constante e a consistência constante, partir-se-ia do princípio que a resistência mecânica e outras propriedades inerentes à sua porosidade também seria constante. No entanto, o fato de que as partes que compõem o agregado reciclável possuir uma grande absorção de água, promove uma mudança deste raciocínio.

Segundo LO et al. (1999), analisando resultados de concretos executados com agregados leve, conclui que a pré-molhagem dos agregados cria um condicionamento na interface agregado/pasta que melhora sensivelmente as condições de permeabilidade, de absorção de água e de resistência mecânica deste concreto.

As figuras nº01 a nº05, mostram os gráficos dos resultados, respectivamente, da massa específica, consumo de cimento, resistência a compressão axial, resistência a flexão e absorção capilar, todos em função do incremento de água de pré-molhagem.

Nota-se, pela figura nº 01, que com o aumento do incremento de água de pré-molhagem, a massa específica da argamassa aumenta, isto se justifica pelo fato de que sendo um traço de argamassa com quantidades fixas de materiais constituintes, quando da execução de cada argamassa, cada incremento de água de pré-molhagem, no lugar desta água promover aumento no volume da argamassa produzida, esta água vai para o interior dos grãos dos agregados, tornando o conjunto da argamassa mais densa, quanto mais água estiver incorporada, por absorção, nos agregados. O interessante, é que a quantidade crescente de água de pré-molhagem, promove aumento da massa específica da argamassa, variando de 1871 kg/m³ a 1956 kg/m³, e mesmo assim a

³ - Tipo - Tipo de argamassa ensaiada, de acordo com a água de pré-molhagem incrementada. APM-a(kg) - Água de pré-molhagem. ME(kg/m³) - Massa específica da argamassa em estado fresco. C(kg/m³) - Consumo de cimento. RC(MPa) - Resistência a Compressão axial. RF(MPa) - Resistência a Flexão. AC(g/cm²) - Absorção capilar às 72 horas. Cons.(mm) - Consistência da argamassa pelo ensaio " Flow-table".

consistência continua constante com valor próximo de 300 mm, conforme mostra a tabela nº07. E, como consequência do aumento da massa específica, o aumento do consumo de cimento também acontece, variando de 161kg/m³ a 169kg/m³, como mostra a figura nº02.

A figura nº05 mostra o comportamento da absorção capilar às 72 horas de ensaio, mostrando que para todos os incrementos de água de pré-molhagem, há uma diminuição a absorção capilar, pois para cada incremento de água de pré-molhagem, a pasta de cimento da argamassa fica micro estruturalmente mais densa, com menos água presente, e portanto menos porosa, dificultando a percolação de água por capilaridade.

O comportamento da resistência a compressão axial e a resistência a flexão, são mostrados nas figuras nº03 e nº04. Nota-se que há um crescimento das resistências a compressão e a flexão das argamassas com incremento de água de pré-molhagem de 0,00kg até 0,84kg, tendo-se um pico máximo em um incremento de água de pré-molhagem em 0,84kg. Voltando a ter um decréscimo nas argamassas com incremento de água de pré-molhagem de 1,05kg e 1,26kg.

Considerando que na figura nº01 mostra o crescimento da massa específica da argamassa com o aumento da água de pré-molhagem, considerando que na figura nº02 mostra o crescimento do consumo de cimento com o aumento da água de pré-molhagem, considerando que na figura nº05 mostra um contínuo decréscimo da absorção de água com aumento da água de pré-molhagem, esperava-se que a resistência a compressão axial e a resistência a flexão, tivesse um crescimento contínuo com o aumento do incremento da água de pré-molhagem, o que não ocorreu.

Quando ocorreu o incremento de água de pré-molhagem, o agregado miúdo reciclável, aceitou este incremento até a sua absorção de água que é de 18,41%, conforme mostra a tabela nº02. Com a absorção de 12,26%, correspondente a uma água de pré-molhagem de 0,84kg, a argamassa atinge o máximo de sua resistência mecânica.

Elementos na forma de agregados porosos, quando envoltos por pasta de aglomerantes, condicionam a uma situação de absorção do agente fluido com porções de aglomerantes, promovendo uma interligação pasta/agregado com condições de aderência. Este comportamento é consagrado, pela literatura técnica, e PETRUCCI (1976), já afirmava "A aderência é devida à ação química entre os materiais em contato e à ação físico-mecânica a que se origina do endurecimento". No caso da pasta de cimento fluída na presença de um agregado poroso, surge uma ação mecânica e física de penetração no agregado de porções e pasta de cimento, em função da porosidade deste agregado, ocasionando o enrigecimento da interface pasta/agregado.

Para o caso específico deste trabalho experimental, a resistência a flexão mostra esta ação de enrigecimento e aderência entre pasta/agregado. Até um incremento de água de 12,26% de água de pré-molhagem, mostrou existir a penetração física e mecânica de porções de aglomerantes no agregado, incrementando a resistência a compressão axial e a resistência a flexão. A partir do incremento de água de pré-molhagem de 12,26%, qualquer incremento de água de pré-molhagem criou uma barreira na interface pasta/agregado, não permitindo a penetração de aglomerantes no agregado,

tendo como consequência o enfraquecimento mecânico da estrutura da argamassa. No entanto, a figura nº05 mostra um decréscimo contínuo da absorção capilar, indicando que quem comanda esta absorção capilar após ao incremento de água de pré-molhagem de 12,26%, é a porosidade da pasta de aglomerantes e não a porosidade criada na zona de transição da interface pasta/agregado

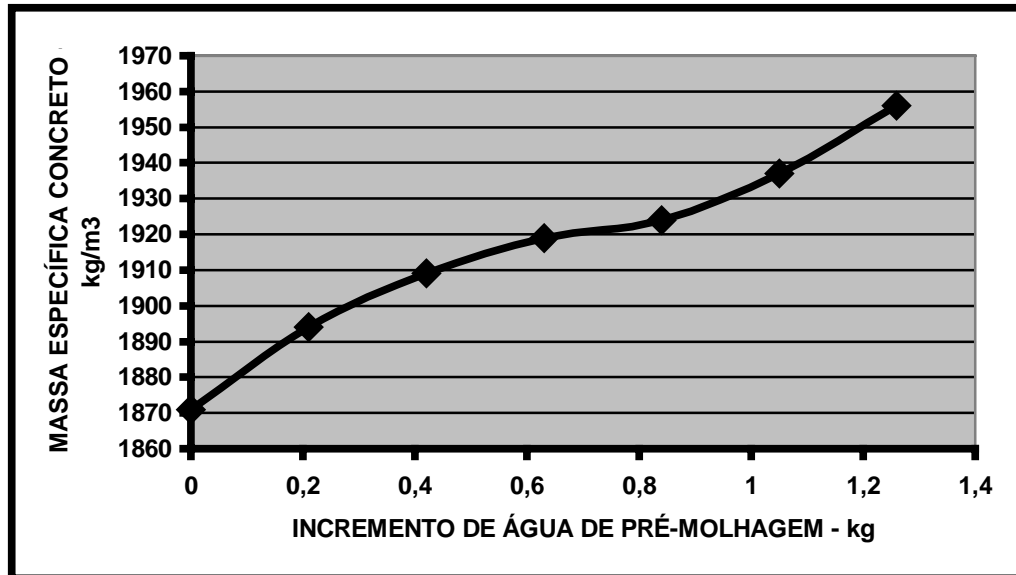


Figura nº 01 - Massa Específica a argamassa com relação ao incremento de água de pré-molhagem.

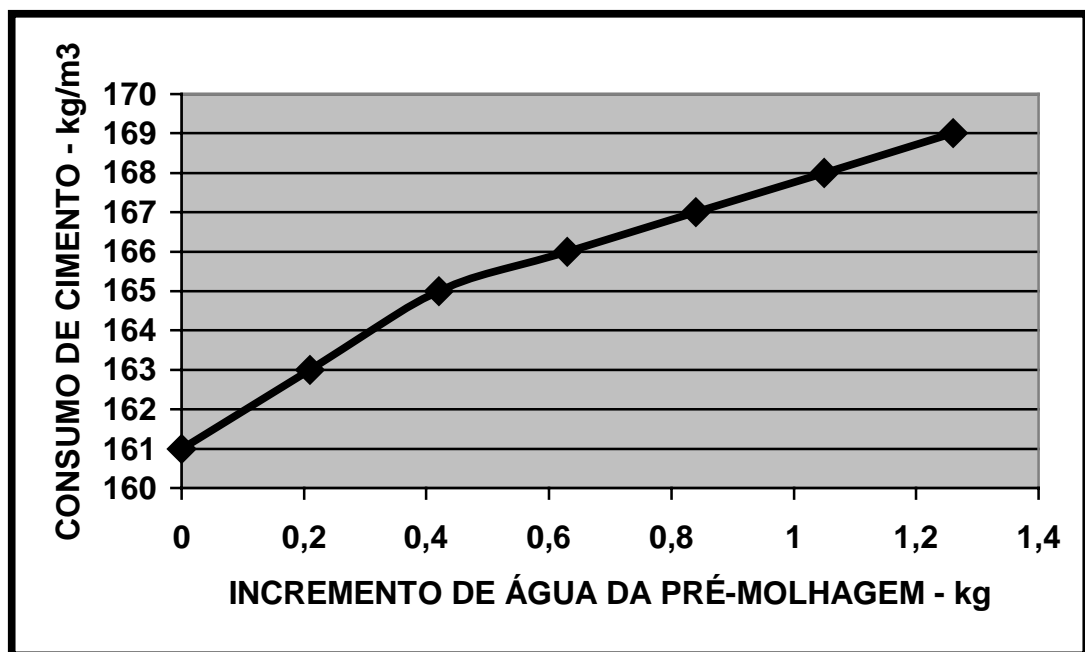


Figura nº 02 - Consumo de cimento em função do incremento de água da Pré-Molhagem

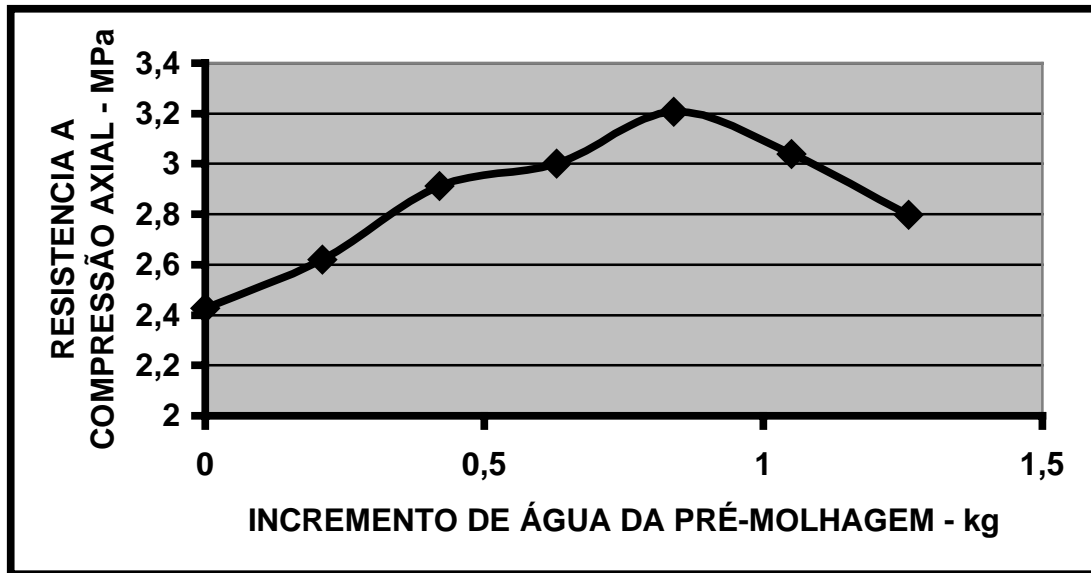


Figura nº 03 - Resistência a Compressão Axial em função do Incremento de água da Pré-Molhagem.

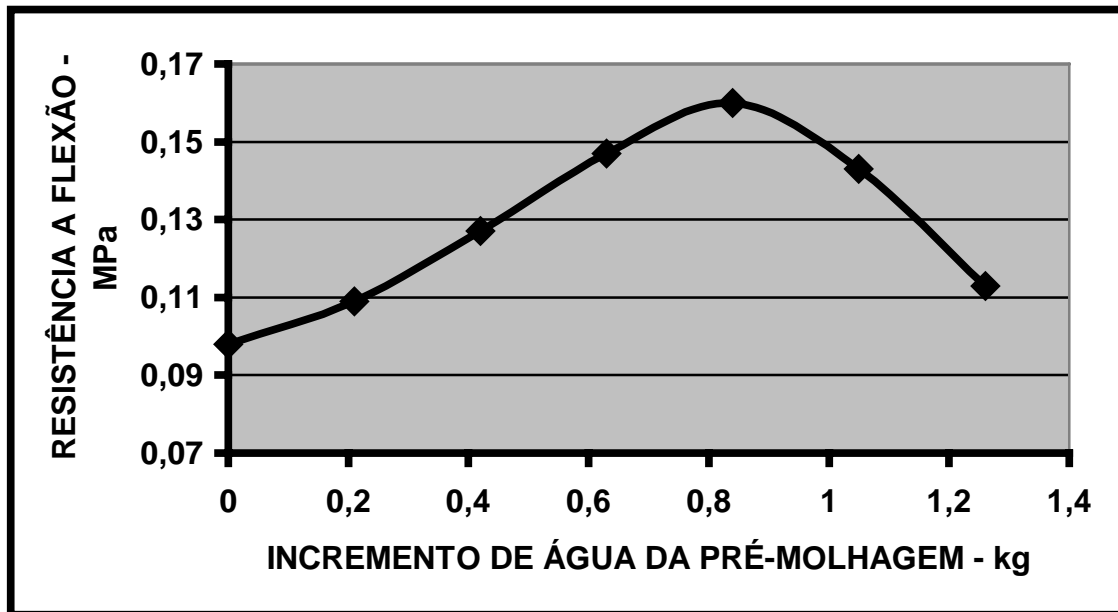


Figura nº 04 - Resistência a Flexão em função do Incremento de água da Pré-Molhagem

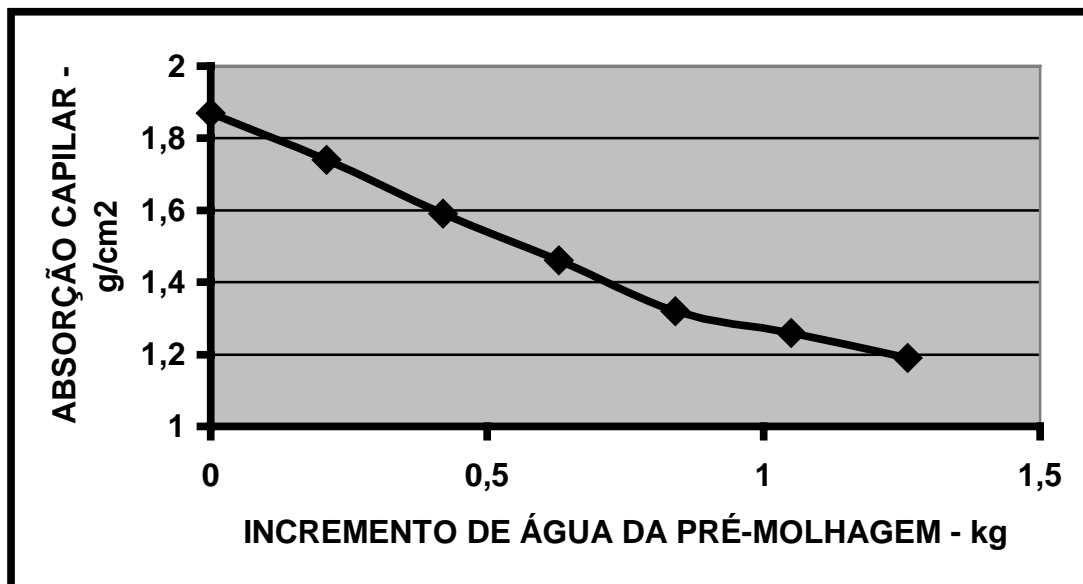


Figura nº 05 - Absorção Capilar em função do Incremento de água da Pré-Molhagem.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O entulho reciclável utilizado para execução de argamassas, possui uma absorção de água muito grande, comparado aos agregados naturais. E, esta absorção de água elevada estabelece um comportamento típico para argamassas executadas com agregados recicláveis oriundos de canteiros de obras.

A pré-molhagem dos agregados recicláveis melhoram o desempenho das propriedades mecânicas das argamassa produzidas. No caso experimental deste trabalho, a pré-molhagem, promoveu um aumento da ordem de 32% na sua resistência a compressão axial e um aumento de 63% na sua resistência a flexão.

O procedimento de pré-molhagem tem que ser acompanhado de estudos aprimorados para se estabelecer o "quantum" de molhagem efetivamente deve ser feito.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOPYAN, V. et al., Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras. - **Relatório** de volumes 01 a 05. São Paulo: 1998.
- BRITO FILHO, J. A., Cidades versus entulho. II Seminário - Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil. IBRACON - Comitê 206. **Anais**. São Paulo: 1999.

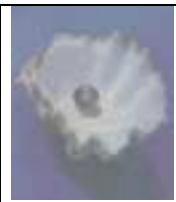
- CINCOTTO, M. A. e KAUPATZ, R. M. Z. Seleção dos Materiais Quanto à Atividade Pozolânica. **IPT/Boletim**. 034 p.23-26. 1988.
- GRIGOLI, A. G., Entulho de obra - Reciclagem e consumo na própria obra que o gerou. In: Enata - 2000, Modernidade e Sustentabilidade, VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Meio Ambiente Construído. **Anais**. Salvador, Bahia: abril 2000.
- HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C., Utilisation of construction waste in rendering mortar. In: CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND. - INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION, Dundee - Escócia. **Proceedings**, pp.115-120. Ravindra & Thomas Grã Betanha - junho 1996.
- LEVY, S. M. e HELENE, P. **Reciclarem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. Dissertação (mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.
- LO, Y.; GAO, X. F.; JEARY, A. P., Microstruture of pré-wetted aggregate on lightweight concrete building and environment. **ACI Materials Journal**. N.34 - pg. 759-764. 1999.
- PETRUCCI, E. G. R., **Materiais de construção**. Porto Alegre, Globo; Rio de Janeiro, F.N.M.E., 1976.
- PINTO, T. P., **Utilização de resíduos de Construção - Estudo do uso em argamassa**. Escola de Engenharia de São Carlos (Departamento de Arquitetura e Planejamento) Universidade de São Paulo -(Dissertação de Mestrado). São Carlos: 1989.
- PINTO, T. P., Reciclagem no canteiro de obras - responsabilidade ambiental e redução de custos. Artigo técnico - **Revista de Tecnologia da Construção - TÉCHNE**. PINI. N. 49. São Paulo: Novembro/dezembro-2000.
- RAVERDI, M.; BRIVOT, F.; PAILLERRE, A. M.; DRON, R. Appréciation de l'activité pouzzolanique des constituantes secondaires, In. CONGRÉS INTERNATIONAL DE LA CHIMIE DES CIMENTS, 7e, v.III, IV-36. **Anais**. Paris: 1980.
- TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P., Strength of the recycled aggregate, concrete made using field-demolished concrete as aggregate. **ACI Materials Journal** - pp.182-190. march/april-1996.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS COM RELAÇÃO
À PRESENÇA DE MATERIAIS CERÂMICOS DE ENTULHO DE
OBRA**

GRIGOLI, Ademir Scobin (1)

(1) Mestrando. Universidade de São Paulo, PCC.USP. C.P. 61.548,
São Paulo, 05424-970. ademir.scobin@pcc.usp.br

Palavras-chave: entulho, reciclagem, argamassa

RESUMO

No entulho de obra, como material de construção, uma das frações deste, é a porção miúda, da qual pode-se proceder a execução de argamassa para diversas finalidades dentro de uma construção. É inevitável, neste entulho de obra, a presença de porções de cerâmica vermelha, oriunda de blocos cerâmicos assentados com função de vedação. Este trabalho mostra o comportamento da resistência mecânica desta argamassa executada com diferentes quantidades de porções miúdas composta de cerâmica vermelha.

Os resultados obtidos com relação às resistências mecânicas por compressão simples e a flexão das argamassas produzidas com entulho sob a influência do percentual de material cerâmico, mostraram-se satisfatórios com um crescimento da resistência a compressão da ordem de 84% e a flexão da ordem de 27%, na argamassa com 42,5% de adição de agregado miúdo de cerâmica vermelha, comparado à resistência da argamassa de agregados reciclados sem agregado de cerâmica vermelha.

1. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar e estabelecer critérios para a obtenção do desempenho das argamassas de entulho reciclável, quanto à sua resistência mecânica a compressão e a flexão, quando da presença nesta argamassa de porções de agregados miúdos de origem de blocos de cerâmica vermelha, segundo proporções e trabalhabilidade definidas.

2. JUSTIFICATIVA

A argamassa, executada com resíduo reciclável de obra, principalmente com aplicação na própria obra onde o entulho foi gerado, apresenta alguns problemas operacionais de aplicação, principalmente quando ao aspecto de se estabelecer uma trabalhabilidade adequada e determinar um fator água/cimento adequado.

Devido a ocorrência de inconstância nas proporcionalidades dos elementos que compõem o entulho de obra, fica difícil determinar a quantidade de água que se deve adicionar num traço de argamassa para suprir as necessidades de seus elementos com relação à absorção de água, principalmente quando estão envolvidos agregados miúdos recicláveis de argamassa e concretos e agregados recicláveis miúdos de blocos cerâmicos. Então o desenvolvimento de um estudo que mostre o comportamento desses dois tipos de agregados miúdos recicláveis quanto ao desempenho das suas resistências à compressão e a flexão em função das proporções de cada um no conjunto da argamassa, segundo uma trabalhabilidade definida, mostra-se justificável, para o seu entendimento de como se proceder no canteiro de obra para se obter melhores resultados.

3. INTRODUÇÃO

Dentro de um canteiro de obra, em suas diversas etapas, são gerados entulhos nas mais variadas formas e quantidades. Segundo GRIGOLI (2000), entulhos gerados podem ser aplicados como material de construção no próprio canteiro onde foi gerado, seja na forma de concreto ou seja na forma de argamassa, podendo ser utilizados em inúmeras etapas e partes físicas da construção.

O entulho dirigido para a execução e produção da argamassa pode conter areia "in natura", brita triturada "in natura", concreto triturado, argamassa triturada de cimento e areia, argamassa triturada de cimento/cal e areia e blocos de vedação de cerâmica vermelha triturada. O percentual de cada constituinte deste agregado reciclável para argamassa, varia de acordo com cada etapa do cronograma da obra, e, ainda varia consideravelmente de canteiro para canteiro. Cada pesquisador, AGOPYAN (1998), PINTO (1989), BRITO FILHO (1999), neste assunto de reciclagem de entulho em canteiro de obra, cita percentuais diferentes, embora enfocando panoramas idênticos de estudos.

Segundo PINTO (2000), a utilização da reciclagem pelo construtor, de resíduos da própria obra é economicamente viável e vantajosa. E especificamente para o uso de argamassas, tal como GRIGOLI (2000), indica o seu uso para enchimentos, revestimentos e assentamentos gerais de alvenarias, acabamentos de lajes e escadarias, chumbamentos de batentes e contramarcos, assim como também o chumbamentos de instalações elétricas e hidráulicas.

Segundo TAVAKOLI e SOROUSHIAN (1996), um concreto ou uma argamassa executada com resíduos recicláveis, terá reflexo em suas características mecânicas finais, tal como são as características dos materiais a serem

reciclados, e, os percentuais de cada fração reciclada utilizada, pode determinar o desempenho final do produto pronto.

MANSUR et al. (1999), analisando concretos produzidos com agregados graúdos produzidos de cerâmica vermelha maciça em algumas Regiões da Índia, afirma que comparações e definições de padrões dos concretos e argamassas podem ser padronizadas somente se houver uma padronização efetiva dos agregados cerâmicos quanto à sua forma e características físico/mecânicas.

No caso de argamassas de resíduos recicláveis, produzidas no próprio canteiro onde o resíduo foi gerado, é imperativo o estabelecimento de critérios para um eficiente manuseio desta argamassa quanto à sua adequabilidade das proporções envolvidas e o seu desempenho esperado.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para este estudo experimental, o agregado miúdo reciclável com porções de areia natural, brita triturada, argamassa de cal e cimento triturada e concreto triturado, será denominado de Porção Branca, e, o agregado miúdo reciclável com porções de bloco cerâmico triturado, será denominado de Porção Cerâmica.

Foram executados 41 traços de argamassas, onde partiu-se de uma argamassa onde o agregado miúdo foi de 100% de Porção Branca e 0% de Porção Cerâmica, e, variando de 2,5% em 2,5% de adição de Porção Cerâmica, até atingir uma argamassa com 100% de agregado miúdo de Porção Cerâmica.

Para cada traço de argamassa foram executados 06 corpos de prova cilíndricos de 5,0cm x 10cm, sendo 03 corpos de prova para determinação da resistência a compressão axial aos 28 dias de cura, moldados, curados e rompidos segundo a NBR 7215/82, e outros 03 para a determinação da absorção capilar às 72 horas de ensaio após 28 dias de cura, segundo NBR 9779/95. Também foram executados 03 corpos de prova de 4,0cm x 4,0cm x 16,0cm, para determinação da resistência a flexão, moldados, curados e rompidos segundo a NBR 12142.

Foram determinados para cada traço de argamassa, o consumo de cimento e a massa unitária.

A cura adotada para estes ensaios foi a executada em atmosfera de laboratório, procurando simular o melhor possível as condições de canteiro de obra.

Para todos os traços, adotou-se como padrão, uma quantidade de água de amassamento tal que reproduzisse o melhor possível ao que se pratica no canteiro de obra. E, para isso a consistência, segundo o disposto para o ensaio na "Flow-table", foi de 280 ± 10 mm. Esta consistência foi adotada para o cálculo do fator água/cimento, tomando-se por base a sua aplicação na argamassa com 0% de Porção Cerâmica.

O traço básico utilizado foi 1,00 : 2,00 : 6,00 (cimento : cal : agregado miúdo)

A tabela 01, mostra as características dos agregados miúdos recicláveis.

Tabela 01 - Composição granulométrica dos agregados miúdos reciclados

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA -NBR 7217 (ABNT 1987)		
PENEIRA (MM)	PORÇÃO BRANCA (%) RET. ACUM.	PORÇÃO CERÂMICA (%) RET. ACUM.
4,8		3
2,4	2	11
1,2	17	32
0,6	43	51
0,3	62	69
0,15	74	77
0,075	84	86
FUNDO	100,00	100,00
Dim. Máx. caract. -NBR 7217/87	2,40 mm	4,80 mm
Massa unitária - NBR 7251/82	1,118 kg/dm ³	0,980 kg/dm ³
Massa específica - NBR 9776/87	2,59 kg/dm ³	2,61 kg/dm ³
Módulo de finura - NBR 7217/87	1,98	2,43
Material pulverulento - NBR 7218/87	19%	16%

reciclável) - em volume. E, em peso foi 1,00 : 0,89 : 6,50 .

A relação água/cimento foi de 2,60 kg/kg.

As características da cal utilizada estão mostradas na tabela 02.

Tabela 02 - Características da cal

CARACTERÍSTICAS DA CAL	
Massa específica - NBR 6474/84	2,63 kg/dm ³
Massa unitária - NBR 7251/82	0,66 kg/dm ³
Finura - NBR 9289/85	#30 - 0,40% #200 - 13,2%

O cimento utilizado, foi o Cimento CP II E-32, cujas Características Químicas/Físicas e Mecânicas, estão mostradas na tabela 03. Estes resultados foram fornecidos pela Associação de Cimento Portland.

Tabela 03 - Características Químicas/Físicas e Mecânicas do Cimento

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS/ FÍSICAS E MECÂNICAS DO CIMENTO	
Tipo de Cimento	CP II E-32
Perda ao Fogo	0,98%
Resíduo Insolúvel	0,85%
SO ₃	2,77%
CO ₂	1,63%
S	0,27%
Teor de Clinquer + gipsita	83,00%
Teor de Escória	17,00%
Finura do cimento (NBR 7215/82 - NBR 5732/80)	2,30%
Superfície específica (NBR 7215/82-NBR 7224/84)	3290 cm ² /g
Consistência Normal (NBR 7215/82)	20,54%
Tempo de Início de Pega (NBR 7215/82)	2h 30min
Tempo de Final de Pega (NBR 7215/82)	3h 10min
Expansibilidade a quente (NBR 7215/82)	0,00mm
Resistência aos 3 dias (NBR 7215/82)	23,50 MPa
Resistência aos 7 dias (NBR 7215/82)	29,10 MPa
Resistência aos 28 dias (NBR 7215/82)	38,30 MPa

As características da composição percentual dos agregados estão mostradas na tabela 04

Tabela 04 - Composição percentual dos elementos que compõem os agregados miúdos recicláveis

COMPOSIÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS RECICLÁVEIS		
ELEMENTOS	PORÇÃO BRANCA	PORÇÃO CERÂMICA
Areia natural (%)	8	-
Brita triturada (%)	12	-
Concreto triturado (%)	18	-
Argamassa Cal/Cimento (%)	21	-
Argamassa Cal (%)	41	-
Blocos Cerâmicos (%)	-	100
Absorção de água por imersão (%)	29,41	19,45

5. RESULTADOS OBTIDOS

Foram ensaiados 41 traços de argamassas com agregados miúdos compostos de Porção Branca e Porção Cerâmica, onde a Porção Cerâmica varia de 0% a 100% e a Porção Branca variando de 100% a 0%. Ambas as porções variando de 2,5% em 2,5%. Onde foram obtidos os resultados da Resistência a Compressão Axial e a Resistência a Flexão. Os resultados estão mostrados na tabela 05.

Para todos os traços de argamassas ensaiados, a consistência variou de 280,00 mm, para a argamassa com 0% de Porção Cerâmica até 298,00 mm para argamassa com 100% de Porção Cerâmica, distribuídos de forma linear.

O Consumo de Cimento para todos os traços de argamassas ensaiados, foi de 161,00 kg/m³, com desvio padrão de $s = \pm 8,00$ kg/m³, com dispersão distribuída uniformemente por todos os traços executados.

Foram obtidos todos os valores da massa unitária para cada traço de argamassa, onde para 0% de Porção Cerâmica obteve-se o valor de 1841 kg/m³ e para 100% de Porção Cerâmica obteve-se o valor de 1902 kg/m³ e para 42,5% de Porção Cerâmica e 57,5% de Porção Branca obteve-se um valor de 1934 kg/m³.

Foram obtidos todos os valores de absorção capilar às 72 horas para cada traço de argamassa, onde para 0% de Porção Cerâmica obteve-se o valor de 1,89 g/cm² e para 100% de Porção Cerâmica obteve-se o valor de 1,54 g/cm² e para 42,5% de Porção Cerâmica e 57,5% de Porção Branca obteve-se um valor de 1,12 g/cm

Tabela 05 - Valores obtidos para a Resistência a Compressão Axial e a Resistência a Flexão

RESISTENCIA A COMPRESSÃO AXIAL (RC) E RESISTÊNCIA A FLEXÃO (RF)							
%PC	%PB	RC	RF	%PC	%PB	RC	RF
0,0	100,0	2,046	0,104	52,5	47,5	3,605	0,181
2,5	97,5	2,056	0,109	55,0	45,0	3,590	0,177
5,0	95,0	2,156	0,110	57,5	42,5	3,546	0,176
7,5	92,5	2,351	0,121	60,0	40,0	3,520	0,175
10,0	90,0	2,452	0,124	62,5	37,5	3,480	0,172
12,5	87,5	2,465	0,127	65,0	35,0	3,450	0,171
15,0	85,0	2,487	0,131	67,5	32,5	3,400	0,171
17,5	82,5	2,654	0,144	70,0	30,5	3,380	0,166
20,0	80,0	2,901	0,145	72,5	27,5	3,350	0,163
22,5	77,5	2,999	0,149	75,0	25,0	3,321	0,162
25,0	75,0	3,001	0,159	77,5	22,5	3,246	0,163
27,5	72,5	3,172	0,167	80,0	20,0	3,223	0,154
30,0	70,0	3,248	0,170	82,5	17,5	3,213	0,153
32,5	67,5	3,406	0,171	85,0	15,0	3,170	0,154
35,0	65,0	3,467	0,177	87,5	12,5	3,150	0,151
37,5	62,5	3,602	0,185	90,0	10,0	3,060	0,151
40,0	60,0	3,705	0,186	92,5	7,5	3,068	0,147
42,5	57,5	3,768	0,188	95,0	5,0	3,034	0,147
45,0	55,0	3,735	0,186	97,5	2,5	3,003	0,145
47,5	52,5	3,605	0,185	100,0	0,0	2,983	0,143
50,0	50,0	3,611	0,180				

Onde - **PC(%)** - Porcentagem de Porção Vermelha. - **PB(%)** - Porcentagem de Porção Branca - **RC** - Resistência a Compressão Axial (MPa) - **RF** - Resistência a Flexão (MPa)

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Segundo o que mostra a tabela 05, temos que para uma argamassa de agregado miúdo reciclável com 0% de Porção cerâmica, apresentou uma Resistência a Compressão axial de 2,046 MPa e para 100% de Porção Cerâmica, apresentou um Resistência a Compressão axial de 2,983 MPa. No entanto, conforme mostra a figura 01, a argamassa mostrou uma maior Resistência a Compressão Axial para um percentual de 42,5% de Porção

Cerâmica, onde o valor foi de 3,768 MPa, com 84,00% a mais que com percentagem de Porção Cerâmica de 0% e 26,30% a mais que com percentagem de Porção Cerâmica de 100%. Veja-se que para 42,5% de Porção Cerâmica é também onde se obteve a maior massa unitária das argamassa estudadas, de 1934 kg/m³, assim como também a menor absorção capilar às 72 horas, de 1,12 g/cm².

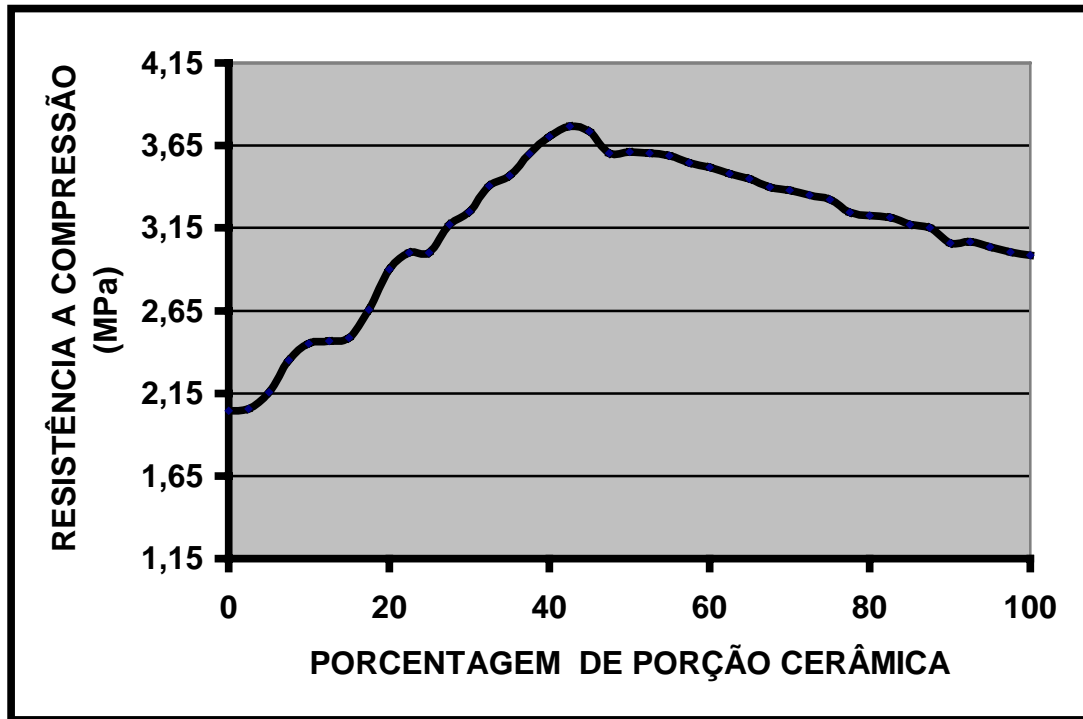


Figura 01 - Resistência a Compressão Axial em função da porcentagem de Porção Cerâmica

Segundo o que mostra a tabela 05, temos que para uma argamassa de agregado miúdo reciclável com 0% de Porção cerâmica, apresentou uma Resistência a Flexão de 0,104 MPa e para 100% de Porção Cerâmica, apresentou um Resistência a Flexão de 0,143 MPa. No entanto, conforme mostra a figura 02, a argamassa mostrou uma maior Resistência a Flexão para um percentual de 42,5% de Porção Cerâmica, onde o valor foi de 0,188 MPa, com 80,70% a mais que com percentagem de Porção Cerâmica de 0% e 30,60% a mais que com percentagem de Porção Cerâmica de 100%. Veja-se que para 42,5% de Porção Cerâmica é também onde se obteve a maior massa unitária das argamassa estudadas, de 1934 kg/m³, assim como também a menor absorção capilar às 72 horas, de 1,12 g/cm².

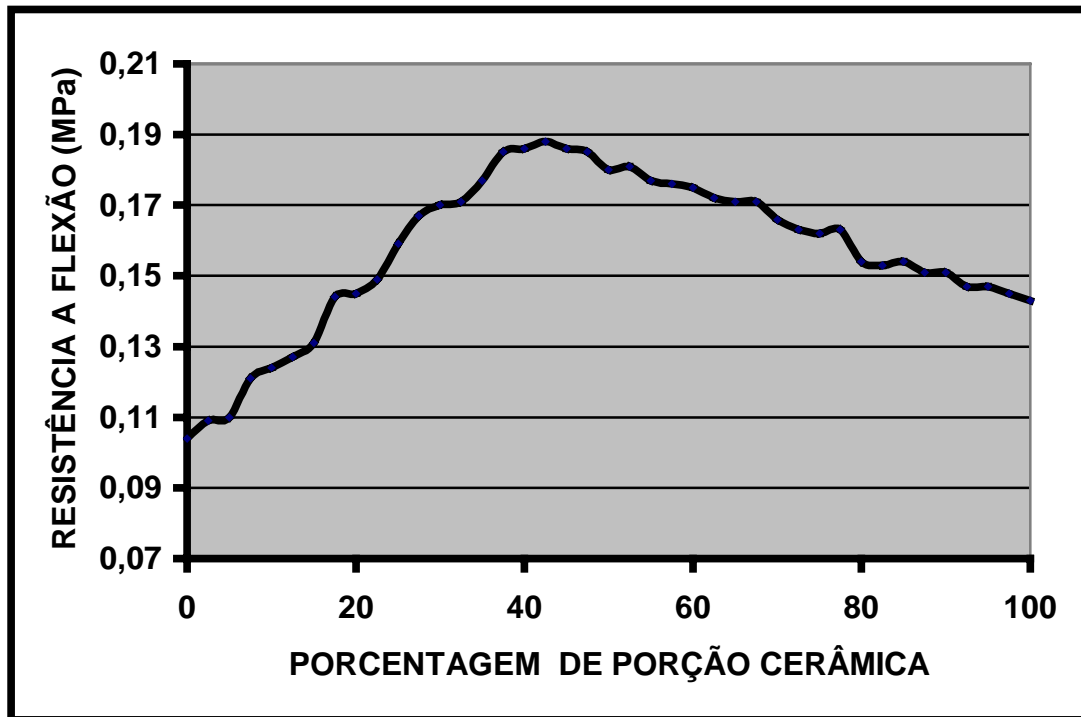


Figura 02 - Resistência a Flexão em função da porcentagem de Porção Cerâmica.

Segundo o que mostra a tabela 05, temos que para uma argamassa de agregado miúdo reciclável com 0% de Porção cerâmica, apresentou uma Resistência a Compressão axial de 2,983 MPa e para 100% de Porção Branca, apresentou um Resistência a Compressão axial de 2,043 MPa. No entanto, conforme mostra a figura 03, a argamassa mostrou uma maior Resistência a

Compressão Axial par um percentual de 57,5% de Porção Branca, onde o valor foi de 3,768 MPa, com 26,30% a mais que com percentagem de Porção Branca de 0% e 84,00% a mais que com percentagem de Porção Branca de 100%. Veja-se que para 57,5% de Porção Branca é também onde se obteve a maior massa unitária das argamassa estudadas, de 1934 kg/m^3 , assim como também a menor absorção capilar às 72 horas, de $1,12 \text{ g/cm}^2$.

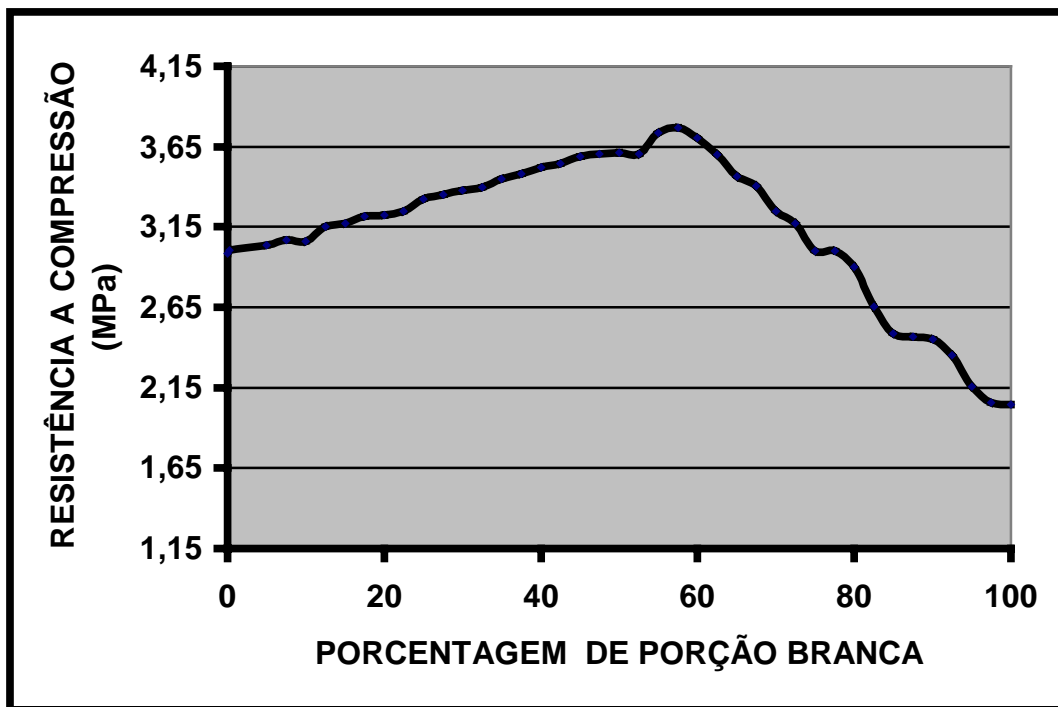


Figura 03 - - Resistência a Compressão Axial em função da porcentagem de Porção Branca

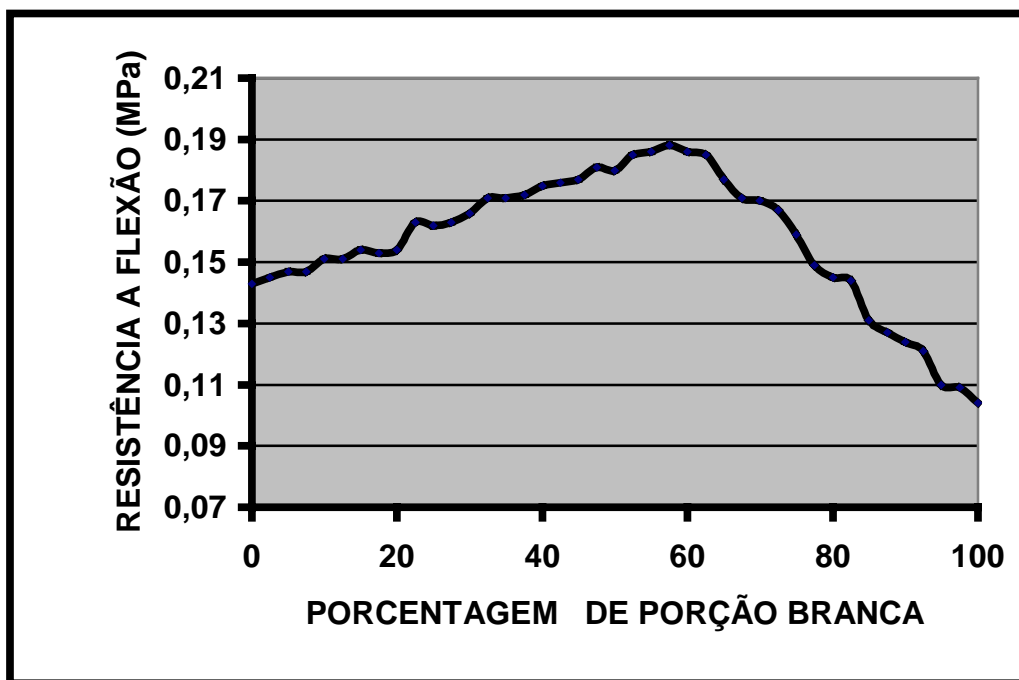


Figura 04 - Resistência a Flexão em função da porcentagem de Porção Branca.

Segundo o que mostra a tabela 05, temos que para uma argamassa de agregado miúdo reciclável com 100% de Porção Branca, apresentou uma Resistência a Flexão de 0,143 MPa e para 0% de Porção Branca, apresentou um Resistência a Flexão de 0,104 MPa. No entanto, conforme mostra a figura 04, a argamassa mostrou uma maior Resistência a Flexão para um percentual de 57,5% de Porção Branca, onde o valor foi de 0,188 MPa, com 30,60% a mais que com percentagem de Porção Branca de 0% e 80,70% a mais que com percentagem de Porção Branca de 100%. Veja-se que para 57,5% de Porção Branca é também onde se obteve a maior massa unitária das argamassa estudadas, de 1934 kg/m^3 , assim como também a menor absorção capilar às 72 horas, de $1,12 \text{ g/cm}^2$.

Segundo CINCOTTO; KAUPATEZ (1988), e RAVERDI et al. (1980), afirmam que as cerâmicas trituradas em argamassas apresentam relativo grau de pozolanicidade, favorecendo o aumento da resistência mecânica ao longo de uma determinada idade de cura. E segundo HAMASSAKI et al. (1996), além da pozolanicidade do sistema cerâmico triturado, tem influência também o "efeito filler" na contribuição do aumento da resistência mecânica ao longo de uma determinada idade de cura.

O autor deste trabalho, além dos considerandos de CINCOTTO e KAUPATEZ (1998), RAVERDI et al. (1980) e HAMASSAKI et al. (1996), acrescenta que os picos alcançados nas Resistências a Compressão Axial e a Flexão, para percentagem na mistura de 42,5% de Porção Cerâmica e 57,5% de Porção Branca, deve-se à configuração micro estrutural da argamassa conseguida segundo o empacotamento dos grãos das argamassas analisadas. Isto se observa pelos resultados obtidos do maior peso unitário da argamassa de 1934 kg/m^3 , exatamente para 42,5% de Porção Cerâmica e 57,5% de Porção Branca. O mesmo se observando nos resultados obtidos para a absorção capilar da argamassa de $1,12 \text{ g/cm}^2$, também exatamente para 42,5% de Porção Cerâmica e 57,5% de Porção Branca.

7. CONCLUSÃO

O desempenho segundo a resistência mecânica de uma argamassa de entulho reciclável pode ser determinada por critérios comparativos da sua massa unitária, absorção capilar, condicionando a um empacotamento ideal de seus grãos.

Com os resultados obtidos e analisados, pode-se concluir que em um canteiro de obras onde se utiliza entulho de obra reciclável para uso em argamassa, consegue-se avaliar as condições de desempenho destas argamassas, quanto a sua resistência mecânica, seja a compressão, seja a flexão.

Conclui-se também que existe uma condição particular e ideal de granulometria para cada argamassa de entulho reciclável a ser analisada, onde os percentuais de seus componentes podem variar segundo as características dos produtos "in natura", presente no canteiro de obra, seja na sua ação pozolânica, seja na sua ação por "efeito filler", ou ainda em função do grau de empacotamento de sua micro estrutura.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

- AGOPYAN, V. et al., Alternativas para a redução do desperdício de materiais nos canteiros de obras. - **Relatório** de volumes 01 a 05. São Paulo: 1998.
- BRITO FILHO, J. A., Cidades versus entulho. In: II Seminário - Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil. **Anais**. IBRACON - Comitê 206. São Paulo: 1999.
- CINCOTTO, M. A. e KAUPATZ, R. M. Z. Seleção dos Materiais Quanto à Atividade Pozolânica. **Publicação IPT/Boletim** n. 034 p.23-26. 1988.
- PINTO, T. P., **Utilização de resíduos de Construção - Estudo do uso em argamassa**. Escola de Engenharia de São Carlos (Departamento de Arquitetura e Planejamento) Universidade de São Paulo -(Dissertação de Mestrado). São Carlos: 1989.
- PINTO, T. P., Reciclagem no canteiro de obras - responsabilidade ambiental e redução de custos. Artigo técnico - Revista de Tecnologia da Construção - **TÉCHNE**. PINI. N. 49. São Paulo: Novembro/dezembro-2000.
- GRIGOLI, A. G., Entulho de obra - Reciclagem e consumo na própria obra que o gerou. In: Entac - 2000, Modernidade e Sustentabilidade, VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Meio Ambiente Construído. **Anais**. Salvador, Bahia: abril 2000.
- HAMASSAKI, L. T.; SBRIGHI NETO, C.; FLORINDO, M. C., Utilisation of Construction waste in rendering mortar. In: CONCRETE IN THE SERVICE OF MANKIND. - INTERNATIONAL CONFERENCE CONCRETE FOR ENVIRONMENT ENHANCEMENT AND PROTECTION, Dundee - Escócia. **Proceedings**, pp.115-120. Ravindra & Thomas Grã Betanha - junho 1996.
- TAVAKOLI, M.; SOROUSHIAN, P., Strength of the recycled aggregate, concrete made using field-demolished concrete as aggregate. **ACI Materials Journal** - pp.182-190. march/april-1996.
- MANSUR , M. A.; Week, T. H.; CHERAN, L. S., Crushed Bricks as Coarse Aggregate for Concrete. **ACI Materials Journal** - pp. 478-484. July/august-1999.
- RAVERDI, M.; BRIVOT, F.; PAILLERRE, A. M.; DRON, R. Appréciation de l'activité pouzzolanique des constituantes secondaires, In. CONGRÉS INTERNATIONAL DE LA CHIMIE DES CIMENTS, 7e, v.III, IV-36. **Anais**. Paris: 1980.

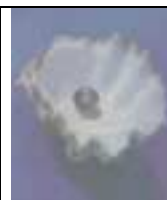
TEMA IV
RESÍDUOS DE MINERAÇÃO E MEIO
AMBIENTE



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

ADIÇÃO DE FINOS DE PEDREIRA EM MISTURAS DE SOLO- CIMENTO

PISSATO, Edilson (1); **SOARES**, Lindolfo (2)

(1) Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Guarulhos-SP. Mestre pelo Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP. Av. Antonio Vita, nº 09 – Parque Renato Maia – Guarulhos, SP. CEP 07114-010. E-mail: epissato@iq.com.br.

(2) Professor Titular; Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. E-mail: lindolfo@usp.br

Palavras-chave: Finos de pedreira, solo-cimento, reciclagem

RESUMO

No presente trabalho é apresentado o estudo da utilização de finos de pedreira como elemento constituinte na mistura de solo-cimento para correção granulométrica de um solo argiloso, melhorando suas características físicas e oferecendo ainda uma nova alternativa para destinação de tal resíduo de mineração. Foram estudadas misturas com diversas proporções entre finos de pedreira e solo, ambos provenientes de uma mineração localizada na Região Metropolitana de São Paulo. Às misturas foi adicionado cimento em proporções variáveis, de forma a obter a quantidade mínima para estabilização do material na forma de solo-cimento, de acordo com a Norma Brasileira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1992).

1. INTRODUÇÃO

O esgotamento dos recursos naturais não renováveis tem exigido cada vez mais esforços no desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionem a substituição das matérias primas tradicionalmente utilizadas na construção civil por materiais considerados até então descartáveis, de forma a reduzir custos e diminuir os impactos ambientais causados pela disposição de resíduos.

É o caso dos finos de pedreira, material gerado nos processos de produção de rocha britada e que normalmente não tem destinação, acumulando-se dentro das minerações ou em áreas de despejo industrial, ocupando áreas úteis, provocando impacto visual, poluição do ar e assoreamento das drenagens.

No presente trabalho propõe-se uma nova alternativa no aproveitamento dos finos de pedra utilizando-os como componente em misturas de solo-cimento.

De forma a avaliar o comportamento do solo-cimento executado com adição dos finos de pedra, foram realizados ensaios de compressão simples, ou não confinada, em corpos de prova moldados com misturas entre um solo natural argiloso e várias proporções de finos de pedra, utilizando-se para cada mistura diferentes teores de cimento em massa. Os resultados obtidos foram comparados aos valores de resistência à compressão admitida pela Norma Brasileira (ABNT, 1992).

Para os ensaios foram utilizadas amostras de finos de pedra provenientes da Pedreira Reago S/A, localizada no Município de Guarulhos, Região Metropolitana de São Paulo. O solo utilizado corresponde ao capeamento de uma futura frente de lavra da pedra.

2. FINOS DE PEDREIRA

Na Região Metropolitana de São Paulo existem 42 pedreiras em operação, produzindo em média 14,5 milhões de metros cúbicos de rocha britada, dos quais cerca de 5 a 10% correspondem aos finos de pedra (FUJIMURA et al., 1996). Quando não utilizados acumulam-se em pilhas dentro das minerações ou em bota-foras gerando sérios problemas ambientais como: emissão de material particulado no ar provocando poluição atmosférica, carreamento pelas águas pluviais e assoreamento das drenagens, impacto visual, ocupação de áreas que poderiam ter finalidade mais nobre.

Embora apresente denominação bastante variável, neste trabalho adotou-se a definição de finos de pedra mais utilizada na literatura: como sendo o material granulometricamente situado abaixo da fração 4,8 mm derivado dos processos de perfuração, detonação e cominuição de rochas (FUJIMURA et al., op. cit). Os finos de pedra normalmente apresentam forma cúbica, superfícies rugosas e angularidades proeminentes.

Na Tabela 1 é apresentada a classificação mais usual adotada pelas minerações brasileiras para os produtos de britagem de rochas.

Para diminuir os impactos ambientais e proporcionar o aproveitamento econômico dos finos de pedra, várias possibilidades vêm sendo estudadas. Entre elas pode-se citar o uso como agregado miúdo na fabricação de blocos de alvenaria ou em concreto compactado a rolo, aplicado em pavimentos, ou ainda a comercialização como areia artificial, após lavagem da fração mais fina (pó de pedra).

Tabela 1 - Classificação granulométrica dos produtos de britagem de rochas.

Brita numerada		Tamanho nominal	
		Mínimo (mm)	Máximo (mm)
Finos de pedreira	Pó-de-pedra		< 0,075
	Pedrisco	0,075	4,8
Brita 1		4,8	12,5
Brita 2		12,5	25
Brita 3		25	50
Brita 4		50	76
Brita 5		76	100
Rachão		> 100	

Fonte: Manual FAÇO (modificado por MENDES, 1999).

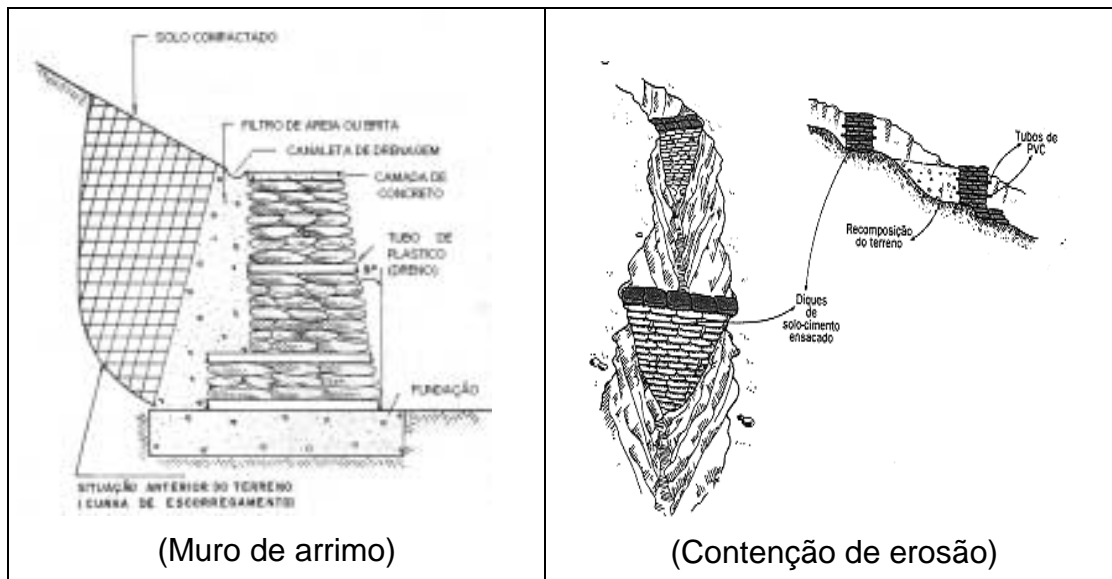
3. SOLO-CIMENTO

O solo-cimento tradicional constitui uma mistura compactada de solo, cimento e água que, após a cura e endurecimento, adquire resistência mecânica, flexibilidade, elasticidade e resistência à erosão. Pode assim ser aplicado sob várias formas:

- na pavimentação: como leitos, sub-leitos e camadas de rolamento;
- na habitação: fabricação de tijolos, execução de paredes monolíticas de edificações ou ainda em pisos, contra pisos e fundações;
- em obras de contenção: muros de arrimo para contenção de taludes de corte ou aterro; regularização de margens de córrego e estruturas de contenção de erosão. Neste caso é utilizada a técnica designada como solo-cimento ensacado, que consiste no empilhamento e compactação de sacos de polietileno preenchidos com a mistura de solo-cimento. Na Figura 1 estão ilustradas estruturas típicas de contenção utilizando solo-cimento ensacado.

O solo-cimento pode ainda ser utilizado para revestimento de taludes em solo e taludes de montante de barragens de terra, sendo em tais casos compactado diretamente na superfície em camadas horizontais.

As principais vantagens de utilização do solo-cimento como alternativa construtiva nos casos acima estão na facilidade de execução, não requerendo mão-de-obra especializada, e nos baixos custos envolvidos, proporcionando economia de até 40% em relação às obras utilizando materiais convencionais (ABCP, 1974).



Fonte: Prefeitura Municipal de Juiz de Fora (1985).

Figura 1. Exemplos de estruturas executadas com solo-cimento ensacado.

4. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

4.1. Solo

O solo utilizado na preparação das misturas constitui o capeamento da pedra, e corresponde ao horizonte B superficial. Apresenta constituição predominantemente argilosa, coloração marrom avermelhada, tendo composição e textura típicas de solo laterítico. A análise por difratometria de raios X indicou predominância dos seguintes minerais: quartzo, argilo-minerais do grupo da kaolinita, óxidos hidratados de alumínio e ferro (gibbsita e goethita).

Os resultados dos ensaios de caracterização estão expressos na Tabela 2 enquanto que a Tabela 3 e a Figura 2 mostram os resultados da avaliação granulométrica dos solos.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de caracterização do solo.

Massa específica média a 20°C (g/cm ³)	2,658
Teor de umidade (%)	1,708
Limite de liquidez (%)	38,9
Limite de plasticidade (%)	24,7
Classificação segundo ASTM (1999)	A6

Tabela 3 - Composição granulométrica do solo.

Fração	(%)
Argila	41
Silte	5
Areia fina	47
Areia grossa	7
Pedregulhos	0

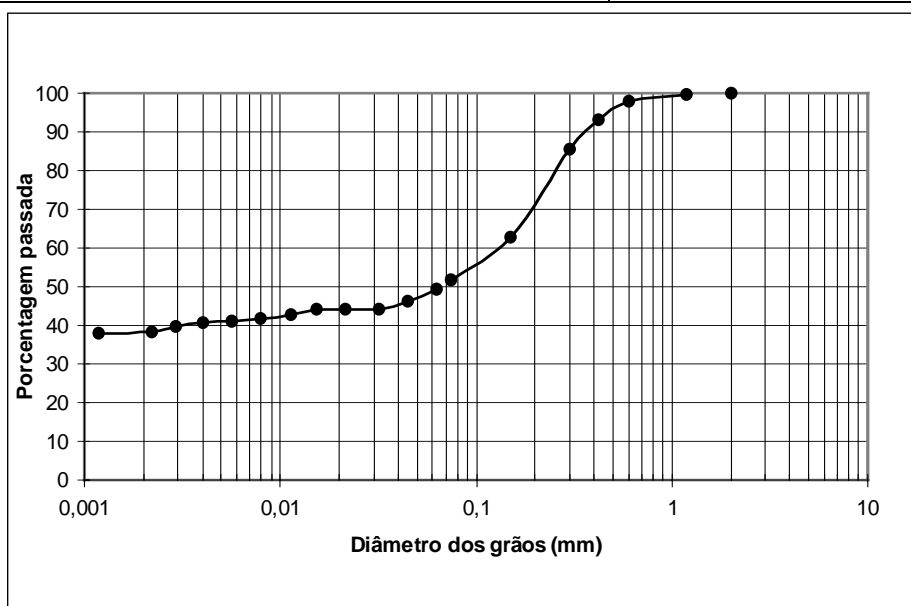


Figura 2. Distribuição granulométrica do solo.

4.2. Finos de pedreira

A caracterização da amostra de finos de pedreira apresentou a distribuição granulométrica resumida na Tabela 4 e Figura 3. A composição mineralógica, determinada através da difratometria de raios X indicou a existência de quartzo, feldspato potássico (microclínio), plagioclásio e micas.

Tabela 4. Composição granulométrica dos finos de pedreira.

FRAÇÃO	(%)
Argila	0
Silte	0
Areia fina	37
Areia grossa	37
Pedregulho fino	24
Pedregulho grosso	2

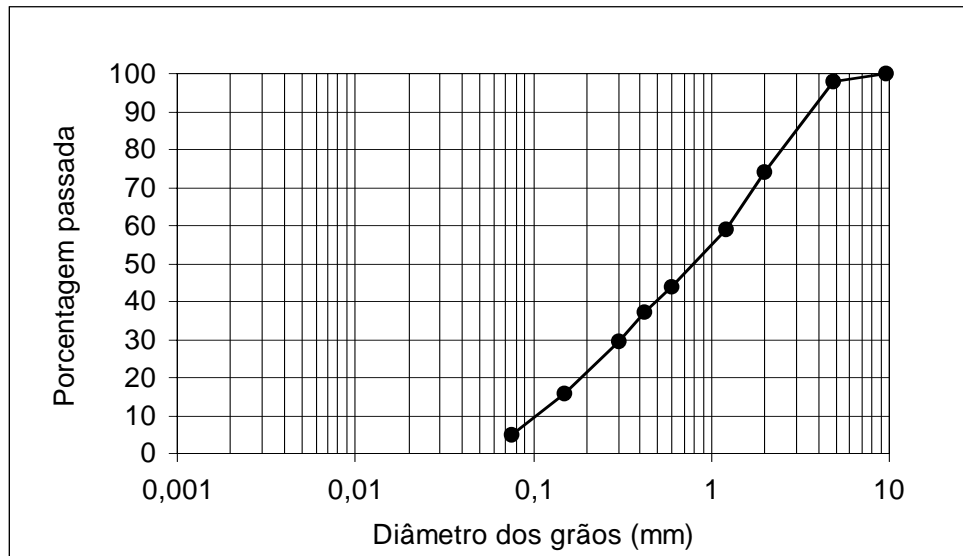


Figura 3. Distribuição granulométrica dos finos de pedra.

5. PROGRAMA EXPERIMENTAL

5.1. Composição das misturas

Qualquer solo pode ser estabilizado com cimento, porém os solos arenosos são os mais indicados por apresentarem maior facilidade nos processos de desagregação e mistura e requererem menores quantidades de cimento para estabilização em relação aos solos argilosos. A preferência por solos arenosos é confirmada por PINTO (1980), ABCP (1986), e pelo CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO – CEPED (1999). Além disso a experiência brasileira, traduzida na Norma Brasileira de Dosagem de Solo-cimento (ABNT, 1992), recomenda utilização de solos até A4, conforme a classificação da Highway Research Board – HRB (ASTM, 1999).

Contudo, solos argilosos podem ser corrigidos com adição de material granular, de forma que possa atender às especificações técnicas (ABCP, 1984).

Valendo-se desse princípio, foram feitas misturas com solo argiloso e finos de pedra nas proporções indicadas na Tabela 5, sendo então aplicados os procedimentos propostos no método brasileiro para dosagem de solo-cimento (ABNT, 1992).

Tabela 5. Composição da misturas entre solo e finos.

AMOSTRA	PROPORÇÃO
A	50% de finos + 50% de solo
B	60% de finos + 40% de solo
C	70% de finos + 30% de solo

5.2. Ensaio de solo-cimento

Os procedimentos para aplicação da norma brasileira para dosagem podem ser assim resumidos:

- ensaios de caracterização das amostras;
- ensaios de compactação do solo-cimento utilizando o teor de cimento em massa indicado na norma, em função da classificação do solo;
- moldagem dos corpos de prova de solo-cimento;
- determinação da resistência à compressão simples aos sete dias de cura.

Segundo os critérios estabelecidos na norma, deve-se adotar como teor mínimo de cimento capaz de estabilizar o solo como solo-cimento, o menor dos teores que forneça resistência média igual ou superior a 2,1 MPa.

Embora a classificação das três amostras corresponda a um solo do tipo A4, indicando utilização de 8 a 10% de cimento em massa, os corpos de prova para realização dos ensaios de compressão simples foram moldados, para cada uma delas, adicionando-se cimento na proporção de 5%, 8%, 10% e 12%. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Figura 4.

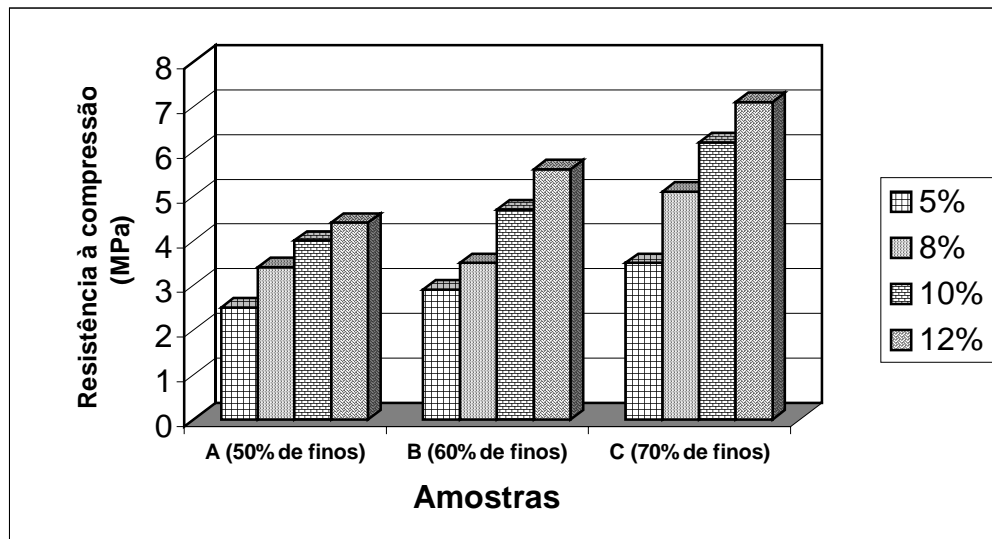


Figura 4. Resistência à compressão simples em relação à proporção de finos de pedra e ao teor de cimento em massa (%).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostram que todos os corpos de prova ensaiados apresentaram resistência à compressão simples superior ao valor mínimo de 2,1 MPa, admitido na Norma Brasileira (ABNT, 1992). Assim as três amostras ensaiadas podem ser estabilizadas com adição de 5% de cimento em massa, teor considerado economicamente viável e que justifica a utilização do solo-cimento.

A quantidade de finos nas misturas teve influência significativa na resistência à compressão simples das amostras, aumentando sensivelmente a resistência e diminuindo a quantidade de cimento mínima para estabilização.

O comportamento do material frente aos ensaios, abre excelentes perspectivas para uma nova alternativa de aproveitamento dos finos de pedreira, agregando a eles valor econômico e diminuindo os impactos ambientais associados ao seu descarte. Além disso, a adição dos finos na correção de solos argilosos possibilita o uso da técnica do solo-cimento, em suas várias formas de aplicação, em locais onde não ocorrem solos arenosos, mais indicados para o uso proposto. É o caso da maior parte da Região Metropolitana de São Paulo, onde o uso do solo-cimento foi muito pouco explorado pela escassez de solos apropriados, mas onde contudo existe grande número de pedreiras. Dessa forma possibilita-se a execução de obras sociais e de infra-estrutura a baixo custo em um grande centro urbano.

O uso de um resíduo para construção de obras com baixo custo pode representar, sob o enfoque social e ambiental, uma atividade bastante viável contribuindo para o alcance da sustentabilidade da exploração dos recursos naturais para uso na construção civil.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard practice for classification of soil and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes - D 3282**. Book of ASTM standards. Philadelphia, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Aplicações de solo-cimento – experiência brasileira**. ABCP. São Paulo, 1974.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND **Prospecção de jazidas e coletas de amostras de solos para solo-cimento. Mistura de dois solos**. ET-59. ABCP. São Paulo, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. – ABCP. **Dosagem das misturas de solo-cimento, normas de dosagem e métodos de ensaios**. 3ª ed. Atual., revisada. São Paulo, 1986. ABCP. (ET-35)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Solo-cimento – dosagem para emprego como camada de pavimento – NBR 12253**. Rio de Janeiro, 1992.

CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO - CEPED. **Manual de construção com solo-cimento**. 4ª ed. Atual. São Paulo, ABCP, 1999 (MT-5).

FUJIMURA, F.; SOARES, L.; HENNIES, W. T.; SILVA, M. A R. Environmental issues and profitable uses of stone quarry fines. . Fourth International Conference on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. (SWEMP). **Proceedings**. Cagliari, Italy. 1996.

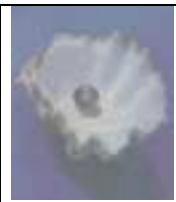
- MENDES, Kleber da Silva. **Viabilidade do emprego de finos de basalto em concreto compactado a rolo**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Minas, São Paulo, 1999.
- PINTO, C. S. **Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento**, 4^a ed. São Paulo. ABCP, 1980, 22p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA. **A utilização de solo-cimento em obras de contenção**. Juiz de Fora/MG. ABCP, 1985 (ET-132).



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**APROVEITAMENTO DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO EM
CONCRETO DE BLOCOS UTILIZADOS COMO QUEBRA-MAR.
UM ENFOQUE AMBIENTAL**

ARRIVABENE, L.F. (1); CALMON, J.L. (2); SOUZA, F.L.S (3)

- (1) Mestre em Engenharia Ambiental. Professor do CEFET-ES. Brasil. E-mail: arribabene@zipmail.com.br
- (2) Dr. Ing., Professor Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Engenharia Ambiental - UFES – Brasil. E-mail: calmont@npd.ufes.br
- (3) Mestre, Professor Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC/UFES – Brasil. E-mail: fernalor@npd.ufes.br

Palavras-chave: Escória de alto forno; classificação ambiental, blocos quebra-mar

RESUMO

A escória de alto forno pode ser aproveitada nas suas diversas formas, ou seja: Escória de alto forno granulada moída (EAFGM), Escória de alto forno granulada (EAFG) e Escória de alto forno bruta britada (EAFBB). Trata-se de um material cujas propriedades permitem sua utilização como agregado miúdo, agregado graúdo e como elemento de substituição parcial do cimento para a produção de concretos. Este artigo tem como objetivo mostrar a possibilidade da utilização da escória de alto forno, nas suas diferentes formas, para produzir blocos possíveis de serem utilizados como quebra-mar. Além disso, apresenta os possíveis impactos da escória ao meio ambiente, a classificação ambiental das escórias e do concreto -escória.

1. INTRODUÇÃO

A produção de aço exige diversas etapas e durante o processo gera diferentes subprodutos e resíduos, dentre eles a escória de alto forno.

No Brasil, segundo dados apresentados por PEREIRA (1995), nota-se que a geração média de escória por tonelada de ferro gusa chega a 304 Kg, gerando aproximadamente 7.600.000 toneladas de escória por ano, considerando-se uma produção de gusa em 1998 que foi de 25.000.000 de toneladas (ABMM, 1999).

Considerando dados fornecidos por PEREIRA (1995), o estoque chegou a ser de aproximadamente 4.200.000 de toneladas. Os crescentes estoques da escória de alto forno nas siderúrgicas e a impossibilidade de utilização total pela indústria de cimento justifica continuar pesquisando sobre as várias possibilidades de utilização desse subproduto no Brasil, contribuindo para agregar valor ao produto, para aumentar o seu consumo, para a economia de energia e minimizando os impactos ambientais no processo de preservação do meio ambiente.

Assim sendo, neste trabalho busca-se dar mais uma contribuição para o aproveitamento de escórias de alto forno como agregado graúdo e miúdo em concretos. Para tal, apresenta-se resultados experimentais relativos ao comportamento de um concreto, denominado concreto-escória, constituído de cimento CPIII-32-RS, escória granulada moída (substituindo parte do cimento), escória granulada (substituindo integralmente a areia natural) e escória bruta britada (substituindo integralmente a pedra natural). O objetivo fundamental de produzir um concreto-escória é poder utilizá-lo como grandes blocos maciços para serem empregados como quebra-mar em obras marítimas. Finalmente, busca-se apresentar a problemática do meio ambiente e as escórias, onde se prioriza os possíveis impactos ambientais que o material pode causar, assim como procede-se a classificação ambiental das escórias no estado bruto e incorporadas no concreto.

Sem intenção de apresentar uma busca exaustiva de trabalhos abordando a utilização de escória de alto forno como agregados para concreto, cita-se a seguir alguns importantes trabalhos e normas no quadro 1.

Quadro 1 - Alguns trabalhos na área de utilização de escórias de alto forno.

Autores e Normas	Artigos ou Normas
Association Française de Normalisation (AFNOR) – NF P18-306 (1965)	Laiter granulé
MOURÃO & CARDOSO (1977)	Uso da escória granulada de alto forno como agregado na fabricação de blocos de concreto
HOFFMANN et al (1978)	Le beton tout laitier
MUNN (1979)	Blast furnace slag as aggregate in concrete
FUJIMOTO (1979)	Cooperative studies in Japan on granulated slag sands for concrete

NUMATA <i>et al</i> (1981)	Utilization of granulated blast furnace slag as concrete aggregates
British Standards Institution –BSI (1983)	Air-cooled blast furnace slag coarse aggregate for concrete
SILVA & ALMEIDA (1986)	Escória de alto forno granulada como agregado miúdo para argamassa e concreto.
SCANDIUZZI & BATTAGIN (1990)	A utilização da escória granulada de alto forno como agregado miúdo
COUTO RIBEIRO <i>et al</i> (1990)	Estudo do aproveitamento de escória como agregado miúdo na produção de argamassas e concreto
COUTO RIBEIRO <i>et al</i> (1992)	Disposição de rejeito industrial siderúrgico através de reciclagem
CINCOTTO <i>et al</i> (1992)	Caracterização de escória granulada de alto forno e seu emprego como aglomerante e agregado
SOLOMON (1993)	Minerals yearbook, slag– iron and steel. Annual report
GEYER <i>et al</i> (1992)	Caracterização e aplicações das escórias siderúrgicas na indústria da construção civil.
MARQUES (1994)	Escória de alto forno: Estudo visando seu emprego no preparo de argamassas e concretos
ARRIVABENE (2000)	Uma contribuição ao estudo de utilização da escória bruta e granulada de alto forno para a produção de concreto

Finalmente, cabe destacar que este artigo surgiu fundamentado num trabalho mais amplo referente a Dissertação de Mestrado intitulada “Uma contribuição ao estudo de utilização da escória bruta e granulada de alto forno para a produção de concreto” (ARRIVABENE, 2000).

No desenvolvimento da referida dissertação explorou-se questões relativas a geração das escórias de alto forno, seu aproveitamento pelo setor cimenteiro e a necessidade de aumentar as contribuições para utilização do subproduto industrial. Posteriormente, abordou-se especificamente a problemática do meio ambiente e as escórias, onde se prioriza os possíveis impactos ambientais que o subproduto pode gerar. Foram apresentados os resultados das análises provenientes da caracterização tecnológica dos materiais (física, mecânica, química, mineralógica), visando o entendimento e análise do comportamento dos materiais diante das solicitações a que serão submetidas. Após a dosagem e fabricação dos concretos estudados, analisou-se o comportamento do concreto-escória. Várias propriedades do concreto no estado fresco e endurecido foram apresentadas, analisadas e comparadas. Finalmente foram estudados o comportamento ambiental dos concretos com escória.

2. CARACTERÍSTICAS DOS CONCRETOS ESTUDADOS

Os dados apresentados nesse item acham-se detalhados em ARRIVABENE (2000) e ARRIVABENE et al. (2001).

Para realizar a pesquisa foram produzidos três (3) tipos de concretos, a saber:

Concreto 1: é o concreto contendo água, cimento, areia silicosa comum de jazida como agregado miúdo e brita de origem gnáissica como agregado graúdo; concreto este usado como referência.

Concreto 2: é o concreto contendo água, cimento, 10% de escória granulada moída (EAFGM) sobre a massa de cimento para corrigir a falta de finos da escória granulada (EAFG), escória granulada como agregado miúdo e a escória bruta britada (EAFBB) como agregado graúdo.

Concreto 3: é o concreto contendo água, cimento, 50% de escória granulada moída (EAFGM), (sendo 10% para corrigir a falta de finos da escória granulada (EAFG) usada como agregado miúdo e mais 40% como substituição do cimento), escória granulada (EAFG) como agregado miúdo e escória bruta britada (EAFBB) como agregado graúdo.

Os principais resultados encontrados no trabalho podem ser destacados:

O teor insuficiente de finos na escória granulada utilizada como agregado miúdo (2% de finos no fundo) exigiu a utilização de escória granulada moída no percentual de 10% sobre o peso do cimento, para compensar a falta de finos.

Com relação a fabricação dos concretos contendo escórias, salienta-se a maior quantidade de água de amassamento exigida, devido ao caráter poroso do agregado - escória utilizado.

De acordo com o CEB-FIP (1995) todos os concretos analisados podem ser classificados como concretos de peso normal, apesar do agregado com escória ser algo mais leve do que o agregado de rocha natural.

Os concretos contendo escórias apresentam teores de ar aprisionado maiores do que o concreto convencional ou de referência, confirmando a textura heterogênea e porosa da escória utilizada como agregado graúdo.

Com relação a durabilidade dos sistemas com escórias de alto forno, foram realizados ensaios de reatividade das escórias com álcalis do cimento (Método ASTM C 1260, 1994) e Método Químico NBR 9774 (1987). Os resultados encontrados permitem interpretar que os agregados são inócuos.

Visando detectar a presença de compostos potencialmente reativos, foram verificados e atendidos os condicionantes impostos pela norma BS 1047 (1983) relativos às relações entre teores de compostos químicos da escória foram atendidos.

Para complementar os ensaios de durabilidade dos sistemas com escórias seriam necessários outras análises tais como: ataque por sulfatos, carbonatação e efeitos da água do mar (penetração de cloretos). Apesar de não terem sido realizados nesse trabalho, com base nas pesquisas já desenvolvidas e bibliografia existente, pode-se dizer que as escórias de alto forno conferem propriedades específicas, entre outras, relativas a menor

difusão de íons cloreto; sulfato; aplicações vantajosas em estruturas de concreto massa ou sujeitos a ação de agentes agressivos (água do mar) (ver citações em MARQUES, 1994).

Analisando-se os resultados de resistência à compressão dos concretos com escória, verificou-se que o concreto 2 apresentou os melhores resultados para todas as idades analisadas. A resistência à compressão do referido concreto aos 91 dias foi 13,3% mais alta que a do concreto de referência (concreto 1). Tal fato pode ser explicado devido a uma microestrutura mais densa da pasta de cimento hidratada, a maior aderência pasta-agregado, a eventual hidratação superficial da escória granulada enquanto agregado miúdo e a melhorias que a escória bruta britada (agregado graúdo) pode produzir quando atua no sentido de favorecer a união mecânica entre pasta e agregado. A análise visual das principais fases da argamassa (pasta) e os estudos de microscopia realizados na zona de transição corroboram as explicações anteriores.

Os resultados encontrados do módulo de deformação para o concreto-escória 2, para as idades de 28 e 91 dias foram superiores ao concreto de referência. Comparando os resultados experimentais obtidos para os concretos aos 91 dias com resultados obtidos através de formulações empíricas do ACI 318-89 (1994) e TAKIZAKI (1988), verificou-se que os valores experimentais se ajustam bem aos valores calculados.

Os valores obtidos para resistência à tração na flexão podem ser considerados ótimos, o que demonstra ter o concreto-escória uma boa aderência entre pasta e agregado, auxiliando significativamente para minimizar o processo de fissuração do concreto, garantindo a continuidade das estruturas e sua durabilidade.

A heterogeneidade na textura das escórias faz com que maiores estudos sejam realizados a respeito das propriedades: absorção, porosidade e massa específica do concreto-escória.

A análise da zona de transição ou interface pasta-agregado dos concretos de referência e com escórias, utilizando a técnica de análise petrográfica, permite concluir que os concretos contendo escórias como agregados possuem uma zona de contato significativamente melhor que a do concreto de referência, o que corrobora os resultados encontrados para os valores das propriedades mecânicas do concreto-escória.

3. IMPACTOS AMBIENTAIS

3.1. Impactos ambientais da escória

Como a fabricação de metal necessita de muitos minerais, principalmente o minério de ferro e a sua etapa final é o resíduo escória, a desestabilização do meio ambiente é inerente. Os rejeitos metálicos gerados pela atividade siderúrgica, pela movimentação intensa de caminhões e máquinas e pela própria lixiviação¹ dos montes de escória, são em grande parte acumulados

¹ Lixiviação é uma operação de separar substâncias contidas nos resíduos industriais por meio de lavagem e/ou percolação. (NBR 10.005, 1987).

nos sedimentos, devido às suas características físico-químicas, tais como a granulometria fina das partículas e os valores de pH, que segundo RIBEIRO (1993), contribui para a precipitação de metais na interface sedimento-água. Segundo MOORE (1989), alguns bioacumuladores², presentes tanto no sedimento, quanto na água, servem de alimento aos seres humanos, o que implica dizer que os metais podem chegar a eles. O impacto da escória sobre o meio ambiente, pode ocorrer de maneira direta ou indireta. O impacto direto ocorre quando a escória está na fase líquida, e o impacto indireto quando a escória está na fase sólida (BENSON, 1993). Na figura 1, apresentam-se os impactos da escória, de uma maneira geral.

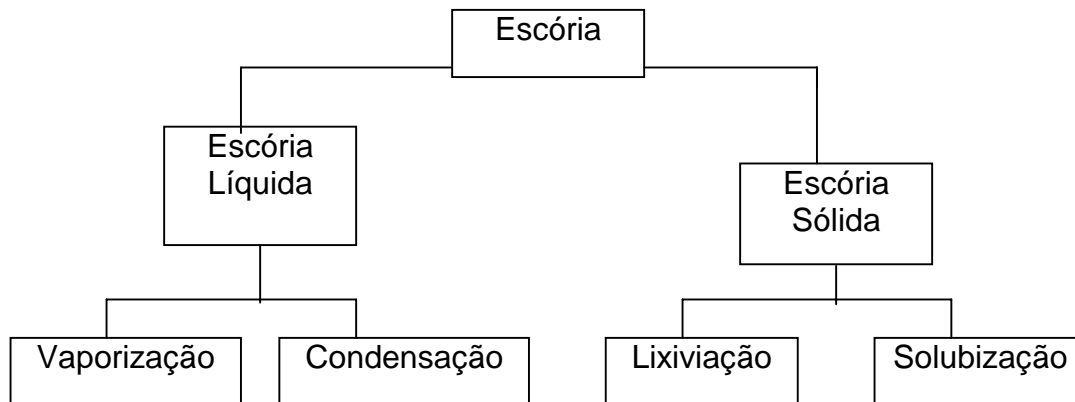


Figura 1. Impactos ambientais gerais da escória de alto forno.

Fonte: BENSON (1993). p. 2

Observando-se a figura 1, percebe-se que a escória produz impacto ambiental direto quando na fase líquida, por meio da vaporização e condensação, que segundo BENSON (1993), dependem da temperatura e da composição química. O vapor pode conter partículas de óxido, hidróxido, cloreto, sulfato, sulfito, fosfato ou mesmo na forma elementar. Quando a temperatura é alta, entre 1000°C a 1600°C o impacto ambiental predominante é a vaporização, quando a temperatura é menor do que 1000°C, o impacto predominante é a condensação, onde predominam os sulfatos. Os estudos deste autor, concluem que o impacto ambiental depende da viscosidade da escória, propriedade que é fortemente afetada pela temperatura.

Quanto aos impactos indiretos, são a lixiviação e a solubilização³. Os ensaios de lixiviação são realizados, visando simular as condições as quais a escória estará submetida, quando estiver estocada. Tal simulação, permite avaliar as

² Bioacumuladores são organismos capazes de acumular poluentes com nível de concentração maior do que os considerados normais. (PHILLIPS, 1977).

³ Solubilização é uma operação de adição de água deionizada ou destilada ao resíduo sólido, seguindo-se de agitação e filtragem. O filtrado será submetido a análise química segundo a norma NBR10.006 (1987).

propriedades específicas das escórias, bem como a saída de um ou mais constituintes da mesma e se ela influenciará a fertilidade do solo, ou provocará algum tipo de contaminação.

Com relação à solubilização, que objetiva determinar a concentração dos possíveis elementos ou compostos contaminantes em solução, quando sob condições de saturação, caracteriza-se por relações de líquido/sólido baixas, resíduos particulados e por tempo de contato que permita alcançar a condição de equilíbrio químico entre as fases líquido-sólido, segundo SLOOT et al (1997). Em suma, a solubilização determina o potencial contaminante do material através da integração dos parâmetros químicos e físicos, que são a solubilidade e a porosidade, respectivamente. O desprendimento de elementos metálicos pela escória, devido a lixiviação e/ou solubilização, faz com que sejam carregados para os córregos e posteriormente para os rios e podem se ingeridos pelo homem, acarretar alguns efeitos, como os do quadro 3.1.

Quadro 3.1. Efeitos gerais de alguns metais das escórias sobre o homem.

Metal	Efeitos
Manganês	Absorvido por via respiratória, concentra-se no duodeno causando Mal de Parkinson, distúrbios de fala, tremores, impotência sexual e perda da coordenação motora.
Alumínio	Metal de largo uso na metalurgia e na mineração. Ingerido provoca a aluminose (doença pulmonar).
Magnésio	Provoca febre, queimaduras na pele, irritação dos olhos e nariz.
Silício	Provoca a silicose que é o endurecimento do tecido pulmonar.
Cádmio	Mal formação fetal, câncer, doenças renais e pulmonares.
Chumbo	Abortos, anemia, cólicas, lesões nos nervos.
Cobre	Lesões no intestino, esôfago, pele e olhos.

Fonte: PINTO (1996). p.2.

Outro estudo interessante sobre os impactos ambientais causados pela escória de alto forno, foi apresentado por SALISBURY (1999). O estudo conclui que as escórias mesmo tendo baixos teores de metais, produzem impactos sobre o solo e sobre as águas subterrâneas, salientando, que se deve conhecer os mecanismos de controle do impacto ambiental e não só o conhecimento científico sobre o resíduo metalúrgico (escória).

3.2. Classificação ambiental da escória no estado bruto e incorporada no concreto

3.2.1. Classificação ambiental das escórias no estado bruto

A escória granulada não apresentou nenhum elemento com teor maior do que os estipulados pela norma NBR 10.004 (1987), para a lixiviação. Em relação a solubilização, a escória granulada apresenta o alumínio com teor acima do limite estabelecido pela norma NBR 10.004 (1987). O referido elemento

apresenta 1,5 mg/l enquanto o limite estabelecido pela norma é de 0,2 mg/l. De acordo com a referida norma a escória granulada é classificada como resíduo sólido de Classe II - Não Inerte.

Com relação a lixiviação da escória bruta britada, a mesma apresenta o manganês e o alumínio com valores significativos porém, todos os elementos estão abaixo dos limites estipulados pela norma NBR 10.004 (1987). Tais valores classificam a escória bruta britada como sendo um resíduo sólido de Classe III – Inerte. A solubilização da escória bruta britada não apresentou nenhum elemento com valor acima dos limites estabelecidos pela referida norma.

3.2.2. Classificação ambiental do concreto-escória.

O ensaio de lixiviação do concreto-escória apresentou todos os elementos com valores menores do que os estipulados pela norma NBR 10.004 (1987), inclusive mostrando que mesmo se todos os elementos fossem lixiviados ainda assim o concreto-escória estaria com os valores abaixo dos permitidos pela referida norma. O resultado do ensaio de lixiviação pode ser visto e analisado na tabela 1.

Tabela 1 - Resultados da lixiviação dos concretos. NBR 10.004 (1987).

Elemento	Concreto 2	Concreto 3	Limite (mg/l)
Ag	< 0,01	< 0,01	5,0
Cd	0,04	0,04	0,5
Cr	< 0,01	< 0,01	5,0
Pb	< 0,01	< 0,01	5,0
Ba	1,39	1,38	100,0
Condições de lixiviação			
PH inicial	11,9	11,7	
PH final	10,1	10,0	
Vol. Ácido (ml)	400	400	
Tempo (hs)	24	24	

Cabe ressaltar as vantagens de se incorporar a escória em concreto, uma vez que, quando em estado bruto ela é um resíduo sólido que apesar de ser classificado como Classe III – Inerte ele sofre desprendimento de metais. Porém, após ser encapsulado em concreto pode inclusive sofrer lixiviação de todo o material encapsulado, que mesmo assim seus valores estariam abaixo dos limites estabelecidos pela norma NBR 10.004 (1987).

Com relação ao ensaio de solubilização dos concretos contendo escória, o resultado aponta o alumínio e o bário com valores acima dos limites estipulados pela norma NBR 10.004 (1987). É necessário maior número de ensaios para verificar se estes elementos continuam tendendo para a

solubilização, uma vez que, foi feito apenas um ensaio e percebe-se que o concreto 2 apresentou o alumínio com valor próximo ao limite permitido pela norma, enquanto que no concreto 3 o valor obtido é significativamente maior que o concreto 2 para o mesmo metal.

O ensaio de solubilização indica que os agregados nos concretos tendem a aumentar a concentração de bário e do sulfato (SO_4), quando os mesmos são utilizados para o desenvolvimento dos concretos, não significando isso uma restrição ao uso dos mesmos, uma vez, que apenas dois, dos doze elementos ultrapassam os limites estabelecidos pela norma NBR 10.004 (1987).

Comparando o valor do alumínio solubilizado na forma bruta (5,87 mg/l) e na forma de material encapsulado no concreto (0,5 mg/l no concreto 2 e 1,6 mg/l no concreto 3), percebe-se que os concretos são uma excelente alternativa para a recepção de escórias minimizando os impactos ambientais que podem ocorrer devido a sua deposição a céu aberto.

A dureza avaliada através do carbonato de cálcio ($CaCO_3$) apresenta valor acima do limite máximo estipulado pela norma NBR 10.004 (1987). Cabe lembrar que trata-se de uma propriedade determinada para águas minerais visando avaliar sua potabilidade, que não é o caso dos concretos aqui desenvolvidos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que os concretos são uma excelente alternativa para a recepção de escórias minimizando os impactos ambientais que podem ocorrer devido a sua deposição a céu aberto.

Os resultados obtidos ao longo do trabalho permitem concluir sobre a viabilidade técnica do uso das escórias nas formas (EAFGM); (EAFG) e (EAFBB) para o emprego na produção do concreto, denominado nesse artigo de concreto-escória, apresentando desempenho bastante satisfatório, quando se compara com o concreto de referência (concreto com brita e areia natural).

O concreto - escória é uma boa alternativa para ser utilizado como blocos quebra-mar em obras marítimas, porém cabe ressaltar que o uso da escória como agregado para concreto merece mais pesquisa e uma fiscalização cuidadosa durante o processo de produção.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMM. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. Revista ABMM. Nº 598, Fevereiro , 1999.

ACI 318-89 (rensed 1992). Bulding code requerementes for reinforced concrete. ACI Manual of Concrete Practice Part 3: Use of Concrete in Biuldings-Design, Specifications, and Related Topics, 345 p., Detroit, Michigan,1994.

AFNOR – Norme Française Homologuée. Betons de Construction. Laitier Granulé NFP 18.306 (1965). Septembre. Paris.

ARRIVABENE, L. F. “Uma contribuição ao estudo de utilização da escória bruta e granulada de alto forno para a produção de concreto”. Vitória, 2000.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental - Centro Tecnológico da UFES, 205p.

ARRIVABENE, L. F.; CALMON, J.L.; SOUZA, F. L. S.; “ Escórias bruta e granulada de alto forno em concretos. Aplicação em blocos utilizados como quebra-mar.” In: Revista Engenharia, Ciência e Tecnologia, v. 04, n.2, Março/Abril, 2001, pp.3-15.

ASTM C – 1260 (1994) – Ensaio de reatividade potencial de agregados.

BATTAGIN, A. F.;SCANDIUZZI, L. “A utilização da escória granulada de alto forno como agregado miúdo”. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 1990. Boletim nº 35.

BENSON, S.A “Slag formation and deposition”. Society International of Drilling, New York, 1993. Nº 27.449.

BSI – British Standarts Institution. Air-cooles Blast-Furnace Slag aggregate For Use In Construction. BS 1047 (1983). London.

CEB-FIP. Código modelo CEB-FIP 1990 para hormigón estructural, E-4. Colégio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1995.

CINCOTTO, M.A. ;BATTAGIN, A.F.;AGOPYAN, V. “Caracterização da escória granulada de alto forno e seu emprego como aglomerante e agregado”. Boletim do IPT, São Paulo, Set/1992. Nº 65.

COUTO, R.C.;PERDIGÃO, T.S.; PINTO, J.D.S. “Estudo do aproveitamento de escória granulada de alto forno como agregado miúdo na produção de argamassas e concreto”. In: 10º Encontro Nacional da Construção, Gramado, 1990. Vo.I I. pp. 811–813.

COUTO, R.C.;PINTO, J.D.S.;STIRLING, T.P. “ Disposição de rejeito industrial siderúrgico através de reciclagem”. Metalurgia e Materiais. São Paulo, Março, 1992. Pp. 40-44.

HOFMANN, R.;KIRPACH, C.;DIDERICH, G.;REINARD, C.H. “Le beton tout laitier”. In: Colloque Intenational sur les materiaux granulaires. International Symposium on Aggregates and fillers, Budapest, October, 1978.

FUJIMOTO, Y. “ Cooperative studies in Japan on granulated slag sands for concrete in the Aust”. IMM, Ilawarra Branch..Utilisation of Steelplant Slags Symposium, February, Austrália, 1979.

GEYER, R.M.T.;MOLIN, D.C.C.;VILELA, A A C.F. “ Escórias siderúrgicas: Caracterização e aplicações para a indústria da construção civil”. In: Vº Encontro Regional Sobre Meio Ambiente. Vitória, ES. Nov/1992.

MARQUES, J.C. “ Escória de alto forno. Estudo visando seu emprego no preparo de argamassas e concretos”. São Paulo. Dissertação de Mestrado apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Março, 1994.

MOORE, J.C. “ Single-species toxicity bioaccumulation and macrobentos colonization tests”. Institute of Marine and Sciences and technology, Seattle, September, 1989.

- MOURÃO, J.N.;CARDOSO, E.V. “ Uso da escória granulada de alto forno como agregado na fabricação de blocos de concreto”. In: 19º Congresso Brasileiro do Cimento – IBRACON, São Paulo, 1977.
- MUNN, R.L. “ Blast furnace slag in concrete in the aust”. Institute of maines and mettallurgical of Illawarra Branch. Utilisation of Steelplant Slags Symposium, Austrália, February, 1979.
- NBR 9974 (1987) – Reatividade potencial do agregado.
- NBR 10.004 (1987) - Classificação de Resíduos Sólidos.
- NBR 10.005 (1987) - Determina Procedimento para Ensaio de Lixiviação.
- NBR 10.006 (1987) - Determina Procedimento para Ensaio de Solubilização.
- NBR 10.007 (1987) – Classificação dos resíduos sólidos
- NUMATA, S.;ENDO, N.;KAWAMOTO,T.;NAGASE,T.;OKIMOT,M.;MAEDA,A “Utilisation of granulated blast furnace slag as concrete aggregates”. Nippon Steel Technique Report, Tokyo, June, 1981.Nº 17.
- PEREIRA, E.A.C. “ Aspectos técnicos da gestão de resíduos nas siderúrgicas integradas a coque”. Revista Metalurgia e Materiais, São Paulo, 1995. Editora Melhoramentos. Vol 51. Nº 438, Fevereiro, pp. 122-128.
- PINTO, H.M. “ Efeitos dos metais pesados encontrados na água sobre os homens”. Apostila de Águas do Curso Técnico de Metalurgia, CEFET/ES, 1996. pp.3.
- PHILLIPS, D.J.H. “ The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine enviroments”. Department of Zoology Applied. Science Publishers Ltda. Marine Biology, Sweden, 1977. Nº 38.
- RIBEIRO, R. “ Contaminação por metais pesados no sedimento”. Caderno Técnico. Publicação FEEMA, Rio de Janeiro, 1993. Nº 10. p. 113.
- SALISBURY, F.D. “Researches take second look at smelter slags”. Stanford Journal Report, nº6. Department of Geological, Stanfor Education, USA, 1999.
- SCANDIUZZI, L.;BATTAGIN, A. F. “ A utilização da escória granulada de alto forno como agregado miúdo”. Boletim da ABCP, São Paulo, 1990. Nº 35.
- SILVA, E.;ALMEIDA, C. “ Escória de alto forno granulada como agregado miúdo para argamssa e concreto”. In: I Simpósio Nacional de Agregados. Departamento de Engenharia de Construção Civil., USP, São Paulo, 1986. pp. 225 – 273.
- SLOOT, H.A.;HAESMAN, L.;QUEVAUVILLE, R. “ Harmonization of leaching extractions tests”. Elsevier Science B.V, Amsterdam, 1997. 1ª Edition.
- SOLOMON, C. “ Minerals yearbook”. Slag – iron and steel. Anual report,. Bureau of Mines, Washington, USA,1993.
- TAKIZAKI, M. “ Strength and elastic modulus of recycled aggregaate concrete”. In: Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Tokyo, Japan, 1988. pp. 557- 564.

6. AGRADECIMENTOS

A realização deste artigo só foi possível graças a colaboração de profissionais e empresas, aos quais agradecemos e passamos a citar: Aos técnicos do laboratório de ensaios de materiais de construção – LEMAC do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo; à Furnas Centrais Elétricas que contribuíram com várias análises das escórias; à Cimento Nassau que doou o cimento necessário a pesquisa; à Aracruz Celulose que realizou os ensaios da área ambiental; Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, mais precisamente ao Agrupamento de Engenharia de Rochas. Estendemos ainda os nossos agradecimentos a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste artigo.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

APROVEITAMENTO DE REJEITOS DO PROCESSAMENTO DA AREIA MONAZÍTICA

HENNIES, Wildor Theodoro (1); **SOARES**, Lindolfo (2); **CORTES**, Guillermo
Ruperto Martin (3); **LAUAND**, Carlos Tadeu (4); **FINKIE**, Ramon (5)

- (1) Prof. Dr. do PMI - Dept^o. Eng. de Minas. Fone: 3758-0556 Fax: 38185721
e-mail wildorth@usp.br
- (2) Prof. Dr. do PMI - Depto. Eng. de Minas. Fax: 38185721 e-mail
lindofo@usp.br
- (3) Doutorando Pesquisador do PMI – Dept^o. Eng. de Minas. Fone:3818-5163,
Fax: 3818-5721 e-mail germac@usp.br.
- (4) Doutorando Pesquisador do PMI – Depto. Eng. de Minas. Fone:5571-1642,
e-mail mctproducoes@uol.com.br.
- (5) Doutorando Pesquisador do PMI – Dept^o. Eng. de Minas. Fone:3818-5163,
Fax: 3818-5721 e-mail ramon.finkie@poli.usp.br.

Palavras chave: Abrasivo, jato d'água, granada, corte de materiais extra duros.

RESUMO

O presente artigo trata da possibilidade de aproveitamento de rejeitos provenientes do tratamento da areia monazítica pela Nuclemon, em usina de beneficiamento localizada no município de Campos, Estado do Rio de Janeiro. O rejeito contém uma quantidade razoável de granada, o mineral é a matéria prima mais tradicionalmente utilizada como abrasivo no processo de corte de materiais de alta dureza utilizando a tecnologia baseada em equipamento de jato de água abrasivo (*abrasive waterjet*).

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia de corte por jato de água abrasivo de ultra alta pressão (42.000 psi = 289,5798 MPa e maior) é largamente utilizada nos países desenvolvidos. Isso pode ser constatado pela grande quantidade de material bibliográfico existente.

No Brasil, o número de máquinas instaladas ainda é pequeno, porém podemos observar alterações neste panorama. Vários representantes de empresas fabricantes deste tipo de equipamento já começaram a se instalar no país, e é cada vez maior o interesse por máquinas de corte por jato d'água. Este fato é plenamente justificável, pois as vantagens oferecidas por este processo de corte são inúmeras. Em qualquer tipo de material, proporciona um corte rápido, preciso, com pouca perda, bom acabamento e sem aquecimento do material. Para o corte de rochas ornamentais, os resultados não são menos satisfatórios. É possível o corte de chapas de granito e de mármore com alta precisão, permitindo criar formas geométricas até então impossíveis de serem executadas através dos processos existentes.

O abrasivo mais utilizado mundialmente e que reúne características apropriadas para utilização no processo é o mineral granada, depois de adequado processo de seleção pelo tamanho das partículas e beneficiamento por métodos térmicos que aumentam a qualidade da dureza do mineral (Ohman, 1993). O tamanho mais utilizado é 80 malhas (180 µm).

No Brasil, devido à falta de fornecedores nacionais, este abrasivo é importado pelas oficinas de jato de água abrasivo, de produtores de diferentes partes do mundo (Estados Unidos, Austrália, países de Ásia, etc.), ao preço de R\$ 2,00/kg.

O uso de tipos alternativos de abrasivos, apresenta claras desvantagens, que são as seguintes:

- a) O mineral de quartzo apresenta riscos de produzir silicoses nos funcionários que apliquem o corte.
- b) Os abrasivos sintéticos de produção nacional como a alumina e o carbeto de silício, resultam em ação agressiva para as peças que compõem o bocal do jato reduzindo drasticamente a vida útil da jóia e do tubo de mistura.
- c) A não - disponibilidade deste material no mercado nacional.

Justamente pelo fato de ser importado, o mineral **granada**, utilizado como abrasivo no corte com jato de água abrasivo de ultra alta pressão, compõe a maior parcela nos custos operacionais do processo, como é mostrado pela Tabela 1.

Tabela 1 - Custos operacionais em R\$¹

Componente	Valor em R\$
Abrasivo ²	39,60
Tubo de mistura ³	14,88
Energia elétrica ⁴	3,22
Manutenção da mesa (incluindo as lâminas de apoio) ⁵	1,87
Reposição dos componentes de alta pressão ⁶	6,90
Custo operacional total por hora	66,47

Observações:

1. Para os valores dos componentes importados (tubo de mistura e reposição dos componentes de alta pressão utilizou-se o câmbio comercial de 30/08/00 (US\$ = R\$ 1,829). Em 04/2001 este valor aumentou para US\$1,00 = R\$ 2,22.

2. Granada obtida na Flow Latino Americana Ltda, representante em São Paulo da empresa norte americana. O custo é de R\$ 2,00/kg para aquisição de 2 toneladas (transporte não incluso). Para o cálculo, considerou-se o consumo de 5,5 g/s.
3. Vida útil do tubo de mistura estimada em 40 horas. Não inclusos os custos de remessa e taxas de importação.
4. Considerando um consumo de 18 kW e um custo por kWh de R\$ 0,17909 (dados da Eletropaulo de 30/08/00, para fins industriais).
5. Valor obtido no mercado norte americano.
6. Não incluso o salário do operador.

Estes dados mostram claramente a necessidade de se obter, no mercado nacional, um material com características semelhantes ao importado, diminuindo-se, dessa forma, os custos operacionais do processo.

2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO NA USINA - 1ª PARTE

A usina de beneficiamento de areia monazítica, de onde foi recolhido o rejeito, pertence à Nuclemon Mineração S/A e está localizada no Município de Campos, Estado do Rio de Janeiro. O principal objetivo do processamento da areia monazítica é a obtenção de tório e urânio, produtos utilizados como combustível nuclear nas usinas átomo - elétricas.

Além desses produtos, consegue-se, também, uma grande quantidade de rutilo e zirconita, e ainda são rejeitadas quantidades importantes de areia com minerais como granada e quartzo entre outros.

A seguir apresenta-se breve descrição do processo de extração e beneficiamento do material:

- a) A areia monazítica se encontra em depósitos marinhos quaternários em extensas áreas da Baixada Fluminense e Capixaba. A mesma é extraída por escreipers e transportada até o pátio da usina de beneficiamento.
- b) A alimentação para a Usina de beneficiamento é feita por pá carregadora que recolhe a areia estocada no pátio para abastecer um silo, que por sua vez é acoplado a uma grelha com abertura de 2 polegadas.
- c) O fluxo da alimentação é feito através de uma correia transportadora e a polpa é mantida com 20% de sólidos, densidade adequada ao conjunto de espirais. Essa polpa é bombeada para uma peneira fixa de 0,25 de polegada, onde o "*undersize*" é encaminhado para o estágio "*rougher*".
- d) O rejeito ("*oversize*") é descartado do processo e estocado para ser utilizado na recomposição dos terrenos no final dos trabalhos da mineração.
- e) O concentrado do "*rougher*" segue para o estágio "*cleaner*", onde o rejeito volta para "*rougher*" e o concentrado segue para um cone desaguador.
- f) O "*underflow*", rico em minerais pesados, é encaminhado para um outro desaguador, onde finalmente obtém-se um concentrado com recuperação em massa de 10% em relação à alimentação (Figura1).

3. DESCRIÇÃO DA 2ª PARTE DO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO

3.1. Secagem

Após redução da umidade, o concentrado de minerais pesados é lançado em silo com capacidade para 40 toneladas e, por gravidade, o minério flui através de uma correia transportadora para um forno rotativo, atingindo a temperatura de 120 °C. Antes de seguir para a separação eletrostática, o material é peneirado a 28 malhas, sendo o "oversize" rejeitado.

3.2. Separação Eletrostática

Na separação em alta tensão, os minerais são submetidos ao efeito "*lifting*" e "*pinning*", onde a velocidade e a temperatura de alimentação são os parâmetros essenciais para uma boa separação.

A separação eletrostática é composta de rolos, distribuídos em estágio primário, intermediário e secundário. No estágio secundário, estes são divididos em rolos para os não - condutores (NC) e rolos para os condutores(C).

A fase primária recebe o minério seco e o separa em não - condutores, (zirconita, monazita e quartzo) e condutores (ilmenita e rutilo). Na secundária os "NC" e "C" são reciclados, liberando os mistos, que são processados no estágio intermediário (Figura.2).

3.3. Separação Eletromagnética

A separação eletromagnética de indução de alta intensidade é formada por dois conjuntos de equipamentos (rolo induzido):

A separação dos condutores em campo baixo na faixa de 6000 Gauss é formada por um conjunto de quatro separadores magnéticos, operando em paralelo. Deste processamento obtém-se um concentrado de ilmenita a 97% e de rutilo a 50%.

A separação dos não - condutores em campo alto na faixa de 16000 Gauss é formada por um conjunto de três separadores magnéticos. Deste processamento obtém-se um concentrado contendo monazita, zirconita e outros minerais magnéticos.

3.4. Separação Gravimétrica

A separação gravimétrica da zirconita é feita em mesas vibrantes pneumáticas e espiral de Humphreys.

A alimentação de entrada tem 60% de minerais pesados e 40% de minerais leves (SiO_2). O concentrado de zirconita obtido das mesas vibrantes apresenta teor de ZrO_2 85%, com 1% de leves. A fração mista rejeitada pela mesa é tratada em espirais de Humphreys, que produzem um concentrado impuro com 8% de leves (Figura 3).

A separação gravimétrica da monazita é realizada em mesas vibrantes pneumáticas e separador magnético. A alimentação de entrada é de 40% de monazita, de onde se obtém um concentrado com teor de 90% de monazita (Figura 4).

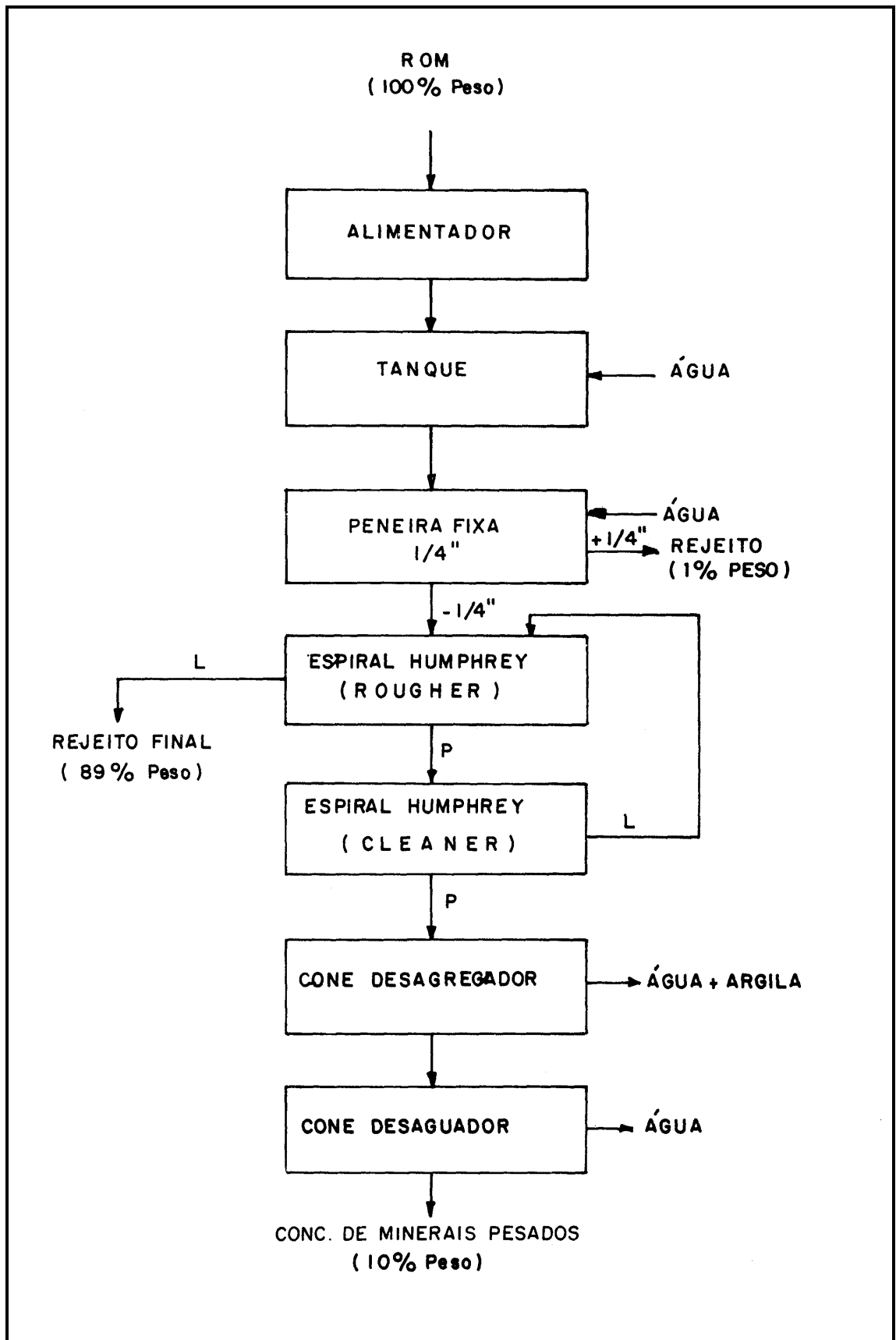


Figura 1 - Fluxograma da planta de pré-concentração primeira parte do processo de concentração

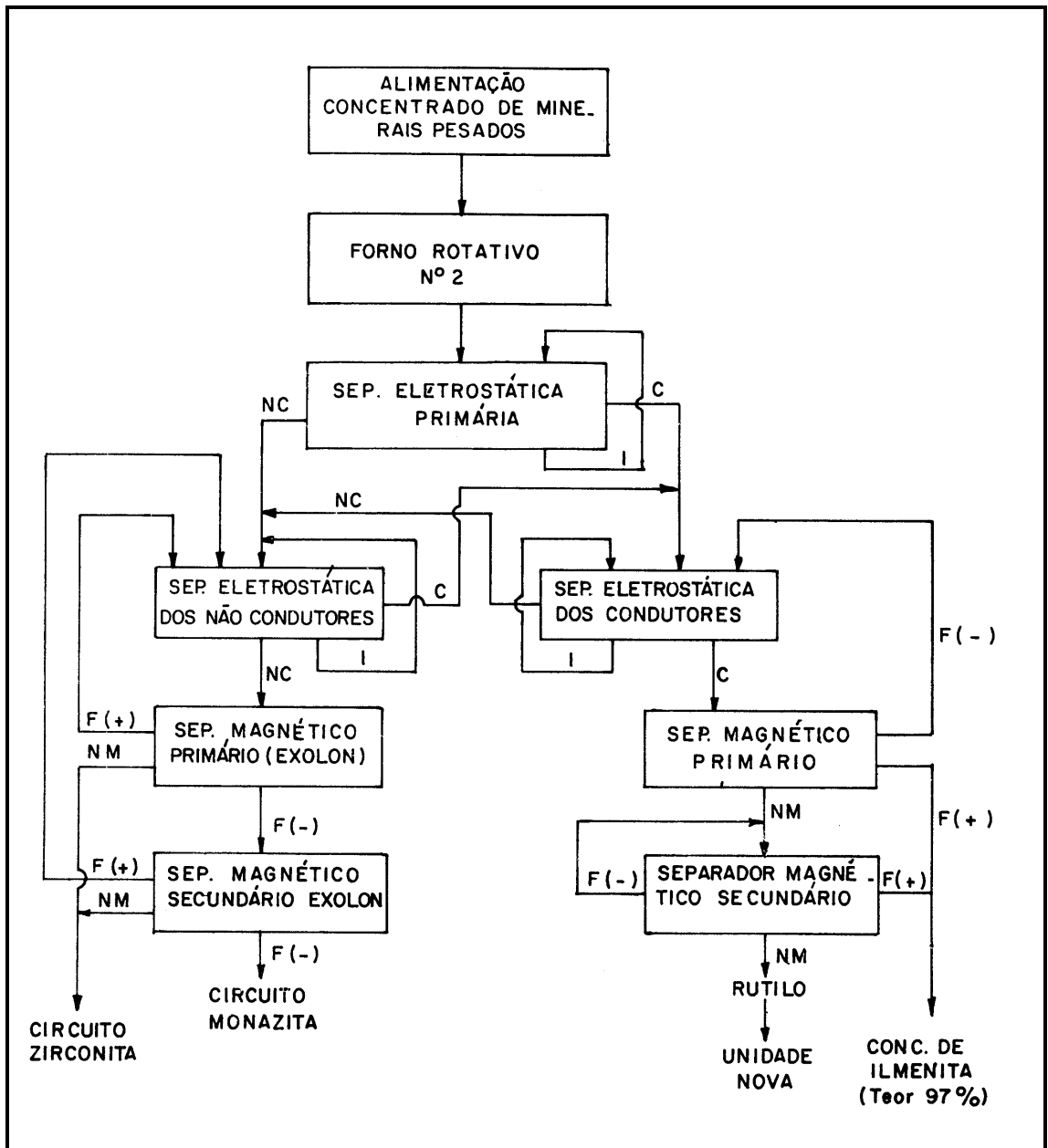


Figura 2 - Fluxograma da usina central

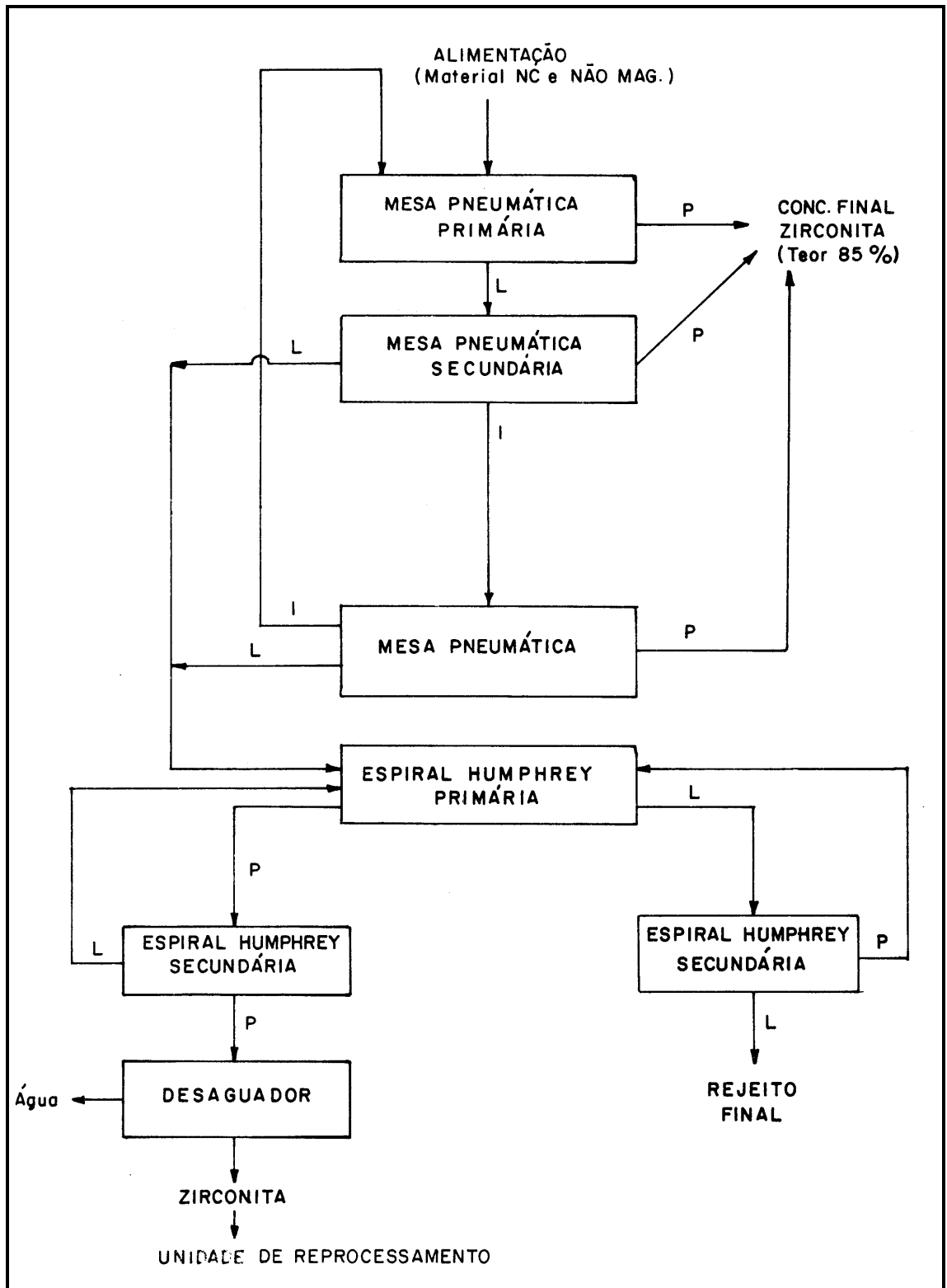


Figura 3 - Fluxograma do circuito de concentração da zirconita

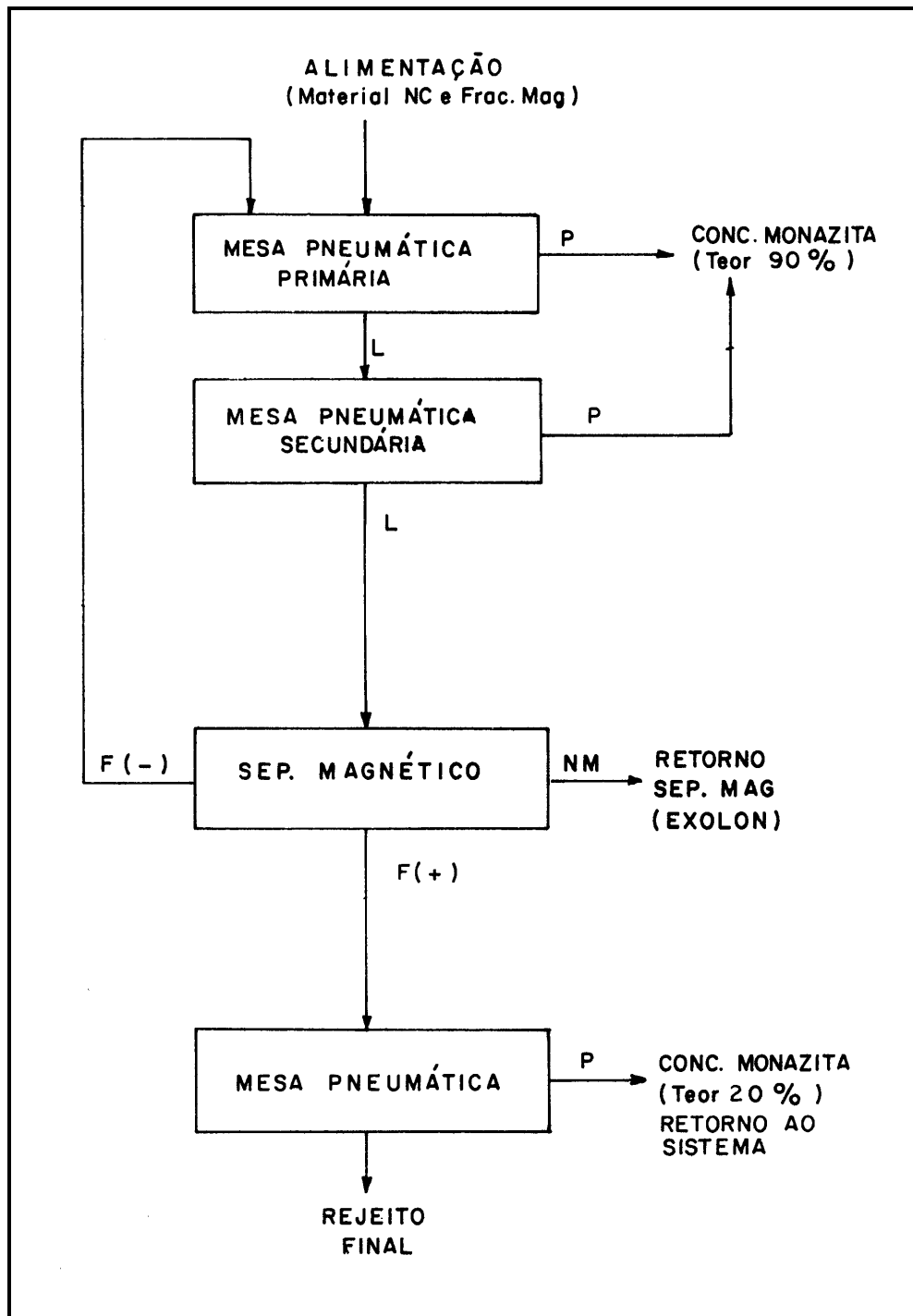


Figura 4 - Fluxograma do circuito da monazita

Tabela 2 - Balanço de massa das plantas de pré-concentrado

PRODUTOS	PESO (%)
Pré-concentrado	10
Rejeito	90

Tabela 3 - Balanço de massa na Usina Central

PRODUTOS	PESO(%)
Ilmenita	40,6
Monazita	4,2
Zirconita	18,0
Rutilo	0,7
Rejeito	36,5

Nota: O rejeito utilizado para obtenção da granada foi retirado do estoque de mineral de Ilmenita.

4. BENEFICIAMENTO EXPERIMENTAL DO REJEITO PARA OBTENÇÃO DA GRANADA

Aproximadamente, 4 kg rejeito foi inicialmente submetido a uma separação magnética a 7 ampères (6500 - 7000 Gauss de intensidade magnética), pela qual se eliminou cerca de 100 g de sucata de Fe, impureza de metal de fragmentos dos equipamentos da usina.

Logo a seguir, o material foi submetido à separação eletrostática a 36 quilovolts em duas ocasiões. Conseguiu-se assim a eliminação, de 70-80% da ilmenita.

Finalmente, obtiveram-se 984 gramas de granada, cerca de 25% do material de rejeito inicialmente submetido ao processamento experimental. O material obtido foi peneirado para atender às exigências do processo de corte por jato d'água abrasivo.

5. CARACTERÍSTICAS DA GRANADA OBTIDA

Os resultados da caracterização tecnológica são apresentados a seguir.

Tabela 4 - Análise química

Óxidos	%	Óxidos	%
SiO ₂	28.3	MgO	3.41
TiO ₂	3.44	K ₂ O	0.06
MnO ₂	1.17	P ₂ O ₅	1.88
Al ₂ O ₃	13.9	SO ₃	0.06
Fe ₂ O ₃	35.3	ZnO	0.08
CaO	1.79	Y ₂ O ₃	0.31
ZrO ₂	4.02	CeO ₂	3.36

- Fator de forma da partícula: 0,73
- Dureza Knoop: 1.340
- Densidade: 4,04 g/cm³

A forma dos grãos do mineral da granada brasileira é mostrada na figura 5. Nesta micrografia os grãos da granada possuem formas aproximadamente equidimensionais, cúbicos ou esféricos. Estas formas arredondadas dos cristais de granada são recomendadas pelos especialistas para aplicação como abrasivo em jato de água de ultra alta pressão para corte de materiais de alta dureza.

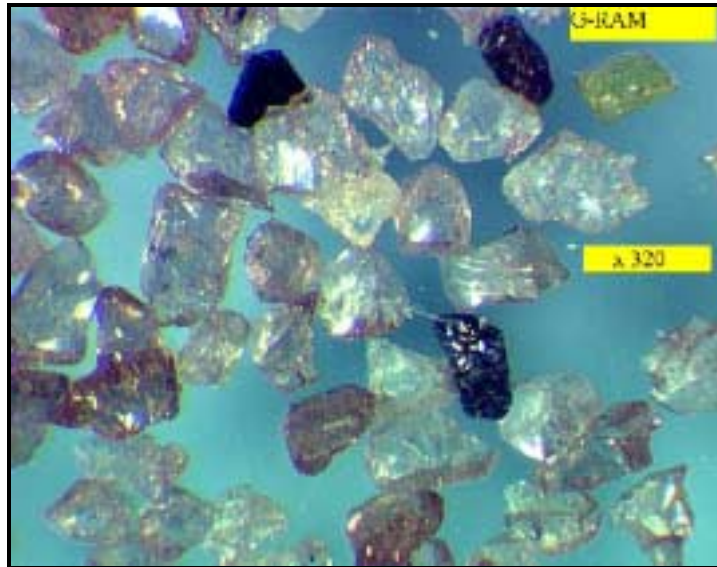


Figura 5 - Micrografia da granada obtida por Microscopia Óptica de Luz Refletida

6. CONCLUSÃO

Procura se apresentar, neste artigo, a possibilidade tecnológica de obtenção de um abrasivo natural nacional que possua características, semelhantes aos produtos importados, e provavelmente a um custo inferior. Atualmente, devido ao pequeno número de máquinas de corte por jato d'água abrasivo instaladas no país, associado ao pequeno consumo de abrasivo para esta finalidade, parece não ser viável a produção a partir do rejeito. É provável contudo que haja um aumento na demanda deste produto no futuro e além disso, como a granada é também largamente empregada como abrasivo em outras aplicações, como rebolos, lixas e uma infinidade de outros produtos para operações de desgaste e polimento industrial um cuidadoso estudo de mercado é aconselhado.

7. BIBLIOGRAFIA

- CORTES, G. R. M.; LAUAND, C. T.; HENNIES, W.T. & CICCUCI, R. **Abrasives in Waterjet Cutting. In: 9th Mining Planning Equipment Selection.** Atenas, 2000. pp. 641-5.
- CRUZ, P.R. & MACIEL, A.C. **Perfil Analítico do Tório e Terras Raras.** Rio de Janeiro, DNPM, 1973.
- LUZ, A. **Manual de Usina de Beneficiamento.** CETEM/CNPq/DNPM/FINEP. Rio de Janeiro, 1989.

MOMBER, A.W. & KOVACEVIC, R. ***Principles of Abrasive Water Jet Machining***. Londres, Springer-Verlag, 1998.

OHMAN, J. L. ***Abrasivos: Suas Características e a Influência no Corte com Jato de Água*** John L., Barton Mines Corporation, North Creek, New York, (em inglês). 7th American Water Jet Conference August 28-31, 1993: Seattle, Washington.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

APROVEITAMENTO DE RESÍDUO DA COBERTURA DE EXTRAÇÃO DO CARVÃO

MYMRIN, Vsevolod (1); **SILVA**, Neli Iloni Warpechowski (2)

- (1) Professor Titular Visitante, Departamento de Geotecnia, Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC, Cx. Postal 1864, CEP 90010-460, Porto Alegre, Brasil. E-mail: mymrin@cientec.rs.gov.br
- (2) Eng^a de Minas, Departamento de Geotecnia, Fundação de Ciência e Tecnologia - CIENTEC, Cx. Postal 1864, CEP 90010-460, Porto Alegre, Brasil. E-mail: neli@cientec.rs.gov.br

Palavras-chave: agregado leve, cerâmica vermelha, cobertura de extração, resíduos industriais, condições ambientais.

RESUMO

O presente artigo contém informações sobre a possibilidade de produção de produtos cerâmicos como blocos, tijolos, telhas e agregados leves a partir de rejeitos argilosos resultantes do processo de extração de carvão mineral da Mina do Recreio, em Butiá-RS, sem e com incorporação de outros resíduos disponíveis na região.

Numa primeira etapa os rejeitos argilosos foram testados na sua forma inicial e com a adição de cinzas da combustão de carvão mineral da Klabin-Riocell, visando a fabricação de blocos, tijolos e telhas, e a seguir com adição de resíduo industrial, da REFAP, para a produção de agregados leves.

Os resultados obtidos revelaram-se, à luz das especificações vigentes, extremamente animadores, podendo ser repassados de imediato ao setor industrial.

1. INTRODUÇÃO

Atividades econômicas como as de mineração de carvão na Mina do Recreio em Butiá, geram, durante a fase de extração deste recurso mineral, grandes quantidades de rejeitos, que podem trazer sérios problemas ambientais, além de outros associados, como por exemplo, altos custos relacionados com a sua disposição. A reciclagem destes rejeitos para a fabricação de componentes para a construção civil pode ser uma alternativa viável, não só quanto aos

aspectos técnicos e econômicos, mas, também e principalmente ambientais, onde uma série de benefícios são obtidos, destacando-se a preservação de recursos naturais e a redução da emissão de resíduos ao meio ambiente.

Inicialmente os estudos foram conduzidos no sentido de avaliar a possibilidade do aproveitamento dos rejeitos argilosos, na forma natural, para a fabricação de blocos, tijolos e telhas.

Considerando, por outro lado, que os rejeitos em pauta, caracterizam-se pela presença de um alto teor de fração argila e uma alta plasticidade, responsáveis muitas vezes pelo surgimento, após secagem e queima dos produtos finais a serem obtidos, de trincas e quebras devido principalmente a alta retração, foi testada também, no presente estudo, a influência da incorporação de resíduos industriais disponíveis, do tipo cinzas pesadas, resultantes da queima de carvão mineral.

De acordo com estudos realizados pela CIENTEC⁽¹⁾ as cinzas pesadas tem composição basicamente sílico-aluminosa e classificam-se quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública como inertes, Classe III.

O emprego de cinzas no Brasil, hoje é pequeno, basicamente para a fabricação do cimento.

Além dos estudos das possibilidades de aproveitamento dos rejeitos argilosos da Mina do Recreio, como materiais de construção do tipo blocos, tijolos e telhas foram desenvolvidas também, investigações voltadas a produção de agregados leves, aproveitando outros resíduos industriais disponíveis na região, como resíduos industriais do setor petroquímico.

2. MATERIAIS

Para a realização do presente trabalho foram estudados apenas materiais descartados nas indústrias, tais como:

- rejeito argiloso resultante do processo de extração do carvão mineral da Mina do Recreio da empresa COPELMI, em Butiá - RS. Estes materiais constituem a cobertura das camadas de carvão, removidos nos processos de mineração a céu aberto e o foco principal das presentes investigações;
- cinzas pesadas geradas pela empresa KLABIN-RIOCELL, no município de Guaíba – RS, estocadas na área de domínio da COPELMI em Butiá. Constituem-se de resíduos industriais que, ao serem incorporados aos rejeitos, têm o objetivo de melhorar as características físicas da massa que irá produzir os blocos, tijolos e as telhas;
- rejeitos industriais resultantes dos processos do refino de petróleo na REFAP (Refinaria Alberto Pasqualini, da PETROBRAS em Canoas-RS), responsáveis, quando adicionadas aos rejeitos argilosos, pelo inchamento dos agregados leves a serem fabricados.

3. METODOLOGIA

3.1. Para avaliação do potencial para a fabricação de blocos, tijolos e telhas

Inicialmente, as duas matérias-primas utilizadas, rejeitos argilosos e cinzas pesadas, foram caracterizadas quanto a granulometria⁽²⁾ e plasticidade⁽³⁾. Os resultados obtidos constam nas Tabelas I e II.

Após secas ao ar e passadas na peneira de 2mm, a partir do material argiloso e das cinzas pesadas, foram preparadas 3 (três) amostras para testes tecnológicos:

1. argila;
2. argila + 20% de cinza em peso (M1);
3. argila + 30% de cinza em peso (M2).

Cada amostra foi preparada de acordo com procedimento CIENTEC C-17⁽⁴⁾. Os corpos-de-prova de dimensões 20x10x100mm, secos a 110⁰C e queimados nas temperaturas máximas de 800⁰C, 900⁰C, 1050⁰C e 1150⁰C em forno elétrico, em atmosfera oxidante e com velocidade controlada de 125⁰C/h, foram submetidos a ensaios para a determinação da umidade de conformação⁽⁵⁾, contração linear de secagem⁽⁶⁾ e de queima⁽⁷⁾, tensão de ruptura à flexão de secagem⁽⁸⁾ e de queima⁽⁹⁾, absorção de água⁽¹⁰⁾, porosidade aparente⁽¹¹⁾ e massa específica aparente⁽¹²⁾.

3.2. Para avaliação do potencial para a fabricação de agregados leves

Diante da falta, nos laboratórios da CIENTEC, de fornos giratórios, que normalmente são empregados para a produção de agregados leves, os corpos-de-prova esféricos, com diâmetro entre 20 e 30mm, foram produzidos manualmente a partir da mistura da argila e rejeitos industriais. Durante essa operação era mantida a umidade em torno de 80 a 100%, por uma hora e em seguida transferidos a um forno de mufla com temperatura entre 1150⁰C a 1250⁰C. Após 15 minutos de queima os corpos-de-prova eram resfriados em temperatura ambiente. A massa específica foi determinada através de procedimento tradicional de parafina⁽¹³⁾. Também foi determinada a composição mineralógica da mistura da argila com os resíduos orgânicos, antes e após a queima, utilizando a difração de raios-X.

4. RESULTADOS

4.1. Dos ensaios físicos do rejeito argiloso e cinza pesada

Na Tabelas 1 e Tabela 2 estão apresentados os resultados dos ensaios de granulometria e de limite de plasticidade para a argila e a cinza pesada.

Tabela 1 - Análise granulométrica (% em peso).

Amostra	Argila (<0,002 mm)	Silte (0,002- 0,06mm)	Areia		
			Fina (0,06- 0,2mm)	Média (0,2- 0,6mm)	Grossa (0,6- 2mm)
Argila	43	49	3	3	2
Cinza pesada	2	33	35	22	8

Tabela 2 - Resultados do limite de plasticidade.

Amostras	Argila	Cinza pesada
Limite de plasticidade (%)	28	não apresentou limite de plasticidade

As umidades naturais médias determinadas para os rejeito argiloso e a cinza pesada atingiram valores em torno de 35% e 40%, respectivamente.

4.2. Dos ensaios tecnológicos para a avaliação das possibilidades para produzir blocos, tijolos e telhas

Na Tabela 3 estão apresentados os valores obtidos da umidade de extrusão, contração linear de secagem e tensão de ruptura à flexão a 110°C para a argila e as misturas M1 e M2.

Tabela 3 - Ensaio cerâmicos realizados nas amostras estudadas.

Mistura	Umidade de extrusão (%)	Contração linear de secagem (%)	Tensão de ruptura à flexão (MPa)
Argila	30,7	6,33	5,29
M1	29,4	1,10	6,09
M2	30,0	0,90	4,57

Segundo Santos⁽¹⁴⁾, as argilas para tijolos, blocos e telhas cerâmicas devem apresentar resistência mecânica superior ou igual a 1,5MPa, 2,5MPa e 3MPa, respectivamente, quando secas a 110°C. Conforme a Tabela 3 os valores da tensão de ruptura à flexão da argila, e das misturas M1 e M2 apresentam valores superiores aos citados, podendo ser utilizadas para fabricação, tijolos, blocos e telhas. Verifica-se que a contração linear de secagem diminuiu significativamente nas misturas M1 e M2 com a adição das cinzas pesadas.

Na Tabela 4 constam os resultados encontrados nos corpos-de-prova queimados nas temperaturas de 800°C, 900°C, 1050°C e 1150°C.

Tabela 4 - Características cerâmicas após queima.

Ensaio	Temp.	Argila	M1	M2
Contração Linear (%)	800°C	0,5	0,0	0,3
	900°C	0,7	0,5	0,3
	1050°C	2,0	1,1	1,3
	1150°C	4,8	4,1	3,7
Tensão de Ruptura à Flexão (MPa)	800°C	4,96	5,74	5,17
	900°C	10,16	12,58	11,89
	1050°C	14,20	19,23	16,48
	1150°C	26,30	22,76	20,46
Absorção de Água (%)	800°C	21,7	18,9	20,3
	900°C	20,3	18,7	19,7
	1050°C	17,9	15,4	17,0
	1150°C	10,6	9,6	10,4
Porosidade Aparente (%)	800°C	36,4	31,7	33,0
	900°C	34,4	31,5	32,3
	1050°C	31,8	27,5	29,6
	1150°C	21,1	18,6	19,5
Massa Específica Aparente (g/cm³)	800°C	1,67	1,67	1,63
	900°C	1,69	1,69	1,63
	1050°C	1,78	1,79	1,74
	1150°C	1,99	1,93	1,88

Quanto aos valores da tensão de ruptura à flexão de todas as amostras estudadas nota-se que crescem com a adição de 20% e 30% de cinza e para uma mesma mistura, com o aumento da temperatura. Os valores da tensão de ruptura à flexão após queima devem alcançar o valor mínimo de 2,0MPa para tijolos, 5,5MPa para blocos e 6,5MPa para telhas⁽¹⁴⁾. Verifica-se que a amostra de argila e a mistura M2 podem ser queimadas a partir de 900°C e utilizadas na fabricação de telhas, blocos e tijolos e a mistura M1, para os mesmos produtos, para qualquer temperatura de queima.

No que se refere a absorção de água e a porosidade aparente, os valores encontrados nos corpos-de-prova das misturas mostram-se inferiores aos da argila sendo, para uma dada temperatura, decrescentes com o teor de resíduo incorporado. Quanto a absorção de água, produtos comerciais como blocos e tijolos tem limites aceitáveis entre 8 a 25% e para telhas o limite máximo é de 18%.

4.3. Dos estudos para avaliação das possibilidades de produção de agregados leves.

Com o objetivo de determinar a composição mineralógica da mistura inicial argila com outros resíduos industriais e o comportamento destes minerais após a queima, foram realizadas análises por difração de raios-X.

Os resultados das ações térmicas sobre o material inicial, durante o processo de produção dos agregados leves, são claramente vistos, até visualmente, quando comparados os difratogramas de raios-X : A e B da Figura 1.

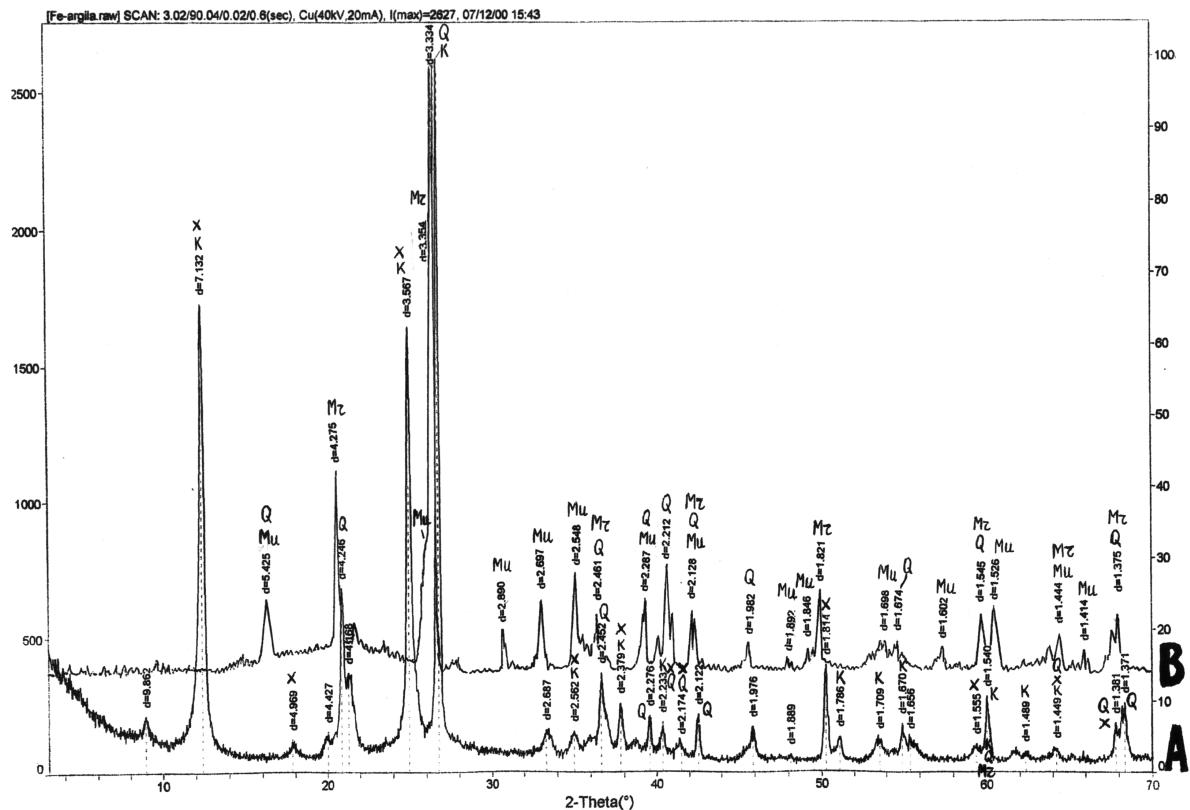


Figura 1 – Resultados da difratometria de raios-X. A - difratograma inicial, B - após a queima a temperatura de 1250°C: Q – quartzo - SiO₂, Mr – marschalita - SiO₂, k caulinita – Al₂Si₂O₅(OH)₄, X – clorita - Mg_{5,1}Al_{1,2}Si₃Cr₇O₁₀(OH)₈, Mu - mulita - 3Al₂O₃·2SiO₂.

A interpretação de difratograma da mistura argila com outros resíduos industriais, (Figura 1 – A) da mistura antes da queima mostrou que o material constitui-se principalmente da mistura de quartzo, caulinita e clorita, cujos picos na maioria dos casos se superpõem. Sem tais superposições restam os seguintes picos (em Å): quartzo – 4,246 – 3,334 – 1,184 – 1,179; caulinita – 7,132 – 4,458 – 1,489 – 1,256 – 1,227 – 1,222; clorita – 1,555 – 1,507.

Todos os picos da caulinita e clorita, acima mencionados, desapareceram, o que testemunha a completa dissociação das suas redes cristalinas. No difratograma B após a queima à temperatura de 1250°C é claramente observado um forte crescimento da intensidade do pico de quartzo, que pode ser explicado por dois processos:

1. síntese de uma quantidade significativa de quartzo a partir de SiO₂ amorfo, bem como a partir dos produtos da dissociação da caulinita e clorita;
2. evidente organização da estrutura das células do quartzo, anteriormente já existentes.

O mais provável é que nos corpos-de-prova, sob as condições de até 1250°C, ocorram os dois processos.

Ao mesmo tempo no corpo-de-prova ocorre também a síntese de uma variedade de quartzo de baixa temperatura: marschalita. A semelhança das estruturas do quartzo e da marschalita indica a superposição de seus picos no difratograma B da Figura 1 – 2,461 – 2,128 – 1,545 – 1,375Å. Sem superposição restam os seguintes reflexos: quartzo – 2,287 – 1,982 – 1,675 – 1,382Å e maeschalita – 1,821 – 1,444Å.

A massa de aluminatos resultantes da dissociação da caulinita e clorita junto com parte dos silicatos foi para a síntese da mulita (3Al₂O₃·2SiO₂). Pequena parte dos picos da mulita coincidiu com os picos do quartzo e da marschalita, a maior parte, porém ficou limpa: 5,425 – 3,434 – 2,890 – 2,697 – 2,548 – 2,212 – 1,892 – 1,846 – 1,697 – 1,602 – 1,526 – 1,414Å.

É evidente, ao mesmo tempo, um brusco aumento do fundo do difratograma que somente pode ser explicado pelo significativo aumento da fase amorfa, do tipo escória siderúrgica⁽¹⁵⁾.

Tais modificações nos difratogramas comprovam, praticamente, a completa decomposição da estrutura cristalina da caulinita e clorita iniciais, a temperaturas até 1250°C, com a passagem dos seus íons constituintes, preferencialmente para a mulita e em parte para o quartzo. Os íons não transferidos, para a rede cristalina da mulita e do quartzo, formaram a fase amorfa.

Processos semelhantes foram observados por um dos autores quando do estudo de escórias siderúrgicas e dos processos de sua hidratação⁽¹⁵⁾.

A grandeza da massa específica determinada ficou na faixa de 0,65 a 0,75g/cm³, o que atende perfeitamente as especificações mundiais para agregados leves. Todavia, na utilização de fornos giratórios, os valores de massa específica podem ser nitidamente diminuídos. A temperatura de queima, por outro lado, pode também ser diminuída em 50 a 70°C, às custas do aproveitamento do calor da queima dos resíduos orgânicos.

As vantagens técnico-econômicas do material desenvolvido em confrontação com os conhecidos são as seguintes:

1. a matéria-prima para a produção do agregado leve constitui-se somente de rejeitos industriais baratos;
2. quase todos estes pertencem a uma mesma empresa e portanto não há problemas de preço com eles ou gastos significativos de transporte para a sua distribuição;
3. a temperatura de queima pode ser visivelmente diminuída por conta do aproveitamento de outros resíduos industriais da empresa;
4. o aproveitamento dos rejeitos industriais contribui para a defesa do meio ambiente e libera áreas atualmente ocupadas com resíduos e rejeitos;

5. a comercialização dos novos produtos, a serem obtidos a partir de resíduos e rejeitos industriais, trará benefícios econômicos maiores do que os que se obtém com os produtos a partir das matérias-primas naturais.

Evidentemente, que as propriedades do produto, obtidas na primeira etapa, podem ser melhoradas em função do aperfeiçoamento das proporções dos componentes iniciais do tempo e temperatura de queima, mas para isso são necessárias investigações adicionais.

As composições dos materiais para obtenção de agregados leves, na atualidade, encontram-se no estágio de obtenção de patente.

Agregados leves podem ser aproveitados para a fabricação de blocos leves de construção, painéis no lugar de materiais rochosos pesados naturais, do tipo granito, basalto e outros. Tais construções revestem-se de maior isolamento térmico e acústico, o que é particularmente importante para habitações urbanas sob condições de clima tropical do Brasil. Além disso, eles podem ser aproveitados para a retenção de umidade dos solos nos períodos secos.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados encontrados pode-se afirmar que o uso de rejeitos argilosos, resultantes da decapagem do carvão da Mina do Recreio, em Butiá – RS, na forma isolada ou em misturas com cinzas pesadas e com rejeitos industriais, para a produção de blocos, tijolos, telhas e agregados leves, apresenta inúmeros atrativos, podendo-se destacar:

- custos mais baixos que os produtos similares convencionais. Trata-se de aproveitamento de matérias-primas que são resíduos industriais prontamente disponíveis, após a geração, sem necessidade de beneficiamento;
- excelentes propriedades tecnológicas, a nível de laboratório, que atendem as especificações vigentes;
- preservação dos recursos naturais;
- redução na agressão ao meio ambiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SANCHES, J.C.D. et al. Caracterização de Cinzas de Carvão e sua Classificação segundo a NBR 10.004. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 2., Porto Alegre, 1998. Artigos Técnicos... Porto Alegre, 1998, p.458-465
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo – Análise granulométrica; Método de ensaio; NBR 7181. Rio de Janeiro. 1984. 13p.
- _____. Solo – Determinação do limite de plasticidade; Método de ensaio; NBR 7180. Rio de Janeiro. 1984. 3p.
- CIENTEC. Argilas: Preparação de corpos-de-prova por extrusão à vácuo. M. CIENTEC C-017. 1995. 2p.
- _____. Argilas – Determinação da umidade de conformação. M. CIENTEC C-020, 1995. 2p.

- ___ . Argilas – Determinação da contração linear de secagem. M. CIENTEC C-021, 1995. 2p.
 - ___ . Materiais Cerâmicos – Determinação da contração linear de queima. M. CIENTEC C-026, 1995. 2p.
 - ___ . Argilas – Determinação da tensão de ruptura à flexão de secagem. M. CIENTEC C-025, 1995. 2p.
 - ___ . Materiais Cerâmicos – Determinação da tensão de ruptura à flexão após queima. M. CIENTEC C-027, 1995. 2p.
 - ___ . Materiais Cerâmicos – Determinação da absorção da água após queima. M. CIENTEC C-022, 1995. 2p.
 - ___ . Materiais Cerâmicos - Determinação da porosidade aparente após queima. M. CIENTEC C-023, 1995. 2p.
 - ___ . Materiais Cerâmicos - Determinação da massa específica aparente após queima. M. CIENTEC C-024, 1995. 2p.
- EMBRAPA – SNLCS. Manual de métodos de análise de solos. Parte I – Análises físicas. 1.11 – Densidade aparente, 1.11.3 – Método do torrão. Rio de Janeiro, 1979, 2p.
- SANTOS, P.S. Ciência e Tecnologia de Argilas. 2 ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1989. 2v. il.
- MYMRIN, V.A. (1998). Empleo de residuos industriales siderúrgicos como materiales aglomerantes en construcción. Revista de Metalurgia, Madrid, 34 (Mayo) de 1998, p441-445.

7. AGRADECIMENTOS

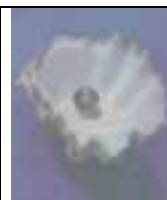
1. Ao Professor Odilon Antônio Marcuzzo do Canto, Presidente da CIENTEC e a Luiz Zorzi que deram a V. Mymrin uma oportunidade de estudar os resíduos industriais produzidos no Brasil;
2. Às empresas COPELMI, KABLIN-RIOCELL e PETROBRAS, que enviaram os materiais para o estudo.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

PREPARO DE ARGAMASSAS COM EMPREGO DE FINOS DE PEDREIRA

D'AGOSTINO, Liz Zanchetta (1); **SOARES**, Lindolfo (2)

- (1) Geóloga. Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo-USP. São Paulo-SP. E-mail liz_zanchetta@hotmail.com
- (2) Prof. Dr. do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, PMI/USP. São Paulo. E-mail lindolfo@usp.br

Palavras-chave: britagem de rocha, finos de pedreira, argamassa, resistência à compressão simples, material arenoso, construção civil.

RESUMO

Este trabalho apresenta e discute a utilização de material arenoso, resultante do processo de britagem de rocha, no preparo de argamassas. Para isso, foram determinadas as características tecnológicas tanto dos chamados finos de pedreira quanto das argamassas produzidas com eles. A título de comparação, outros quatro tipos de materiais arenosos tiveram suas características tecnológicas definidas e argamassas foram produzidas com eles para posteriormente serem ensaiadas em laboratório.

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana da Grande São Paulo é o maior centro consumidor de areias para a construção civil do país, com um consumo de aproximadamente 25 milhões m³/ano (BORN et al., 1996; Soares et al., 1996). Deste volume, 85% provém de regiões distantes, dentre as quais encontram-se áreas fornecedoras situadas no Vale do Rio Paraíba do Sul e no Vale do Rio Ribeira de Iguape, a 120km e 150km, respectivamente, do local de demanda (SOARES et al., 1997).

Particularmente, a porção paulista do Vale do Rio Paraíba do Sul é responsável por 5% do total de areia para a construção civil produzido no Brasil, constituindo-se na maior região produtora de areia do país. Representa também 25% de toda a produção areeira do Estado de São Paulo. A produção de areia no Vale do Rio Paraíba do Sul, compreendendo os municípios de Jacareí, São José dos Campos, Caçapava, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba, atinge, hoje, aproximadamente 750.000 m³/mês (9.000.000

m³/ano). Desta produção, cerca de 80% destina-se ao abastecimento da capital paulista e da Região da Grande São Paulo (ANEPAC, 2000). No que se refere ao consumo brasileiro *per capita* de agregados, o valor é de apenas 1,4t. No Estado de São Paulo, o mais desenvolvido economicamente, está em torno de 4t, metade do consumo dos países desenvolvidos. O consumo *per capita* do norte-americano, em 1996, foi de 8,84t (VALVERDE, 1999).

Regiões produtoras de areias estão cada vez mais distantes da capital devido ao esgotamento gradual de jazidas junto aos centros urbanos, associado aos conflitos originados pela ocupação territorial e pressões das entidades ligadas à preservação ambiental (SOARES et al., 1997). Tais fatores resultam na grande escassez de areias naturais para a construção civil (FUJIMURA et al., 1996) e, por vezes, no fechamento do empreendimento de lavra.

Como consequência desta situação, há o aumento significativo dos preços das areias naturais para construção civil e a indução de exploração de recursos alternativos de materiais de construção situados o mais próximo possível das áreas de consumo. Destes materiais, podem ser citadas as areias de solo de alteração, resultantes do intemperismo de maciços rochosos graníticos e gnáissicos e aquelas resultantes do processo de britagem/moagem de rocha (SBRIGHI NETO; SOARES, 1996).

Desta forma, a pesquisa e o conhecimento das areias aplicadas em argamassas fazem deste bem mineral um tema atual e o seu estudo comparativo mais detalhado torna-se necessário e de interesse, tanto científico como econômico, além de ambientalmente correto, podendo representar alternativas de consumo na área da construção civil.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é apresentar o resultado dos estudos realizados para a utilização de finos de pedreira no preparo de argamassas e estabelecer comparações tecnológicas com outras quatro variedades de material arenoso de origens geológicas distintas.

O estudo do emprego de finos de pedreira na produção de argamassas foi motivado pela grande procura e uso de areia aluvionar na construção civil, quando comparados ao emprego restrito de areias de outras origens. Portanto, é de extrema importância que estes resíduos de mineração sejam testados na produção de argamassas de boa qualidade, para que, com sua reciclagem sejam beneficiados tanto o consumidor que terá em mãos argamassas confiáveis, quanto o meio ambiente, que será poupado de agressões desnecessárias.

3. AS AREIAS ESTUDADAS

O estudo de diferentes tipos de areia é fundamental, pois procedências/processos de obtenção de cada um determinam características intrínsecas do material, tais como granulometria, mineralogia, forma e textura dos grãos. Estas características são responsáveis pelos diferentes comportamentos das argamassas empregadas na construção civil, tais como a resistência e facilidade de manuseio na preparação da mistura de cimento, água e areia.

Os diferentes tipos de areias que foram caracterizados e com os quais foram elaboradas as argamassas, são diferenciados com base na origem geológica distinta de cada um: **1)** areia aluvionar, proveniente de leito de rio; **2)** areia eólica, proveniente de rochas sedimentares formadas em ambiente eólico (paleodunas); **3)** areia de solo de alteração, resultante do intemperismo de maciços rochosos (granitos e gnaisses); **4)** areia resultante do processo de britagem de rochas graníticas e **5)** areia resultante da moagem de rocha quartzítica.

A areia Normal Brasileira (areia padrão) foi utilizada para comparação dos resultados dos ensaios obtidos nos outros cinco tipos de areias estudadas. Assim, foram utilizados os resultados de ensaios tecnológicos, realizados anteriormente pelo IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, com argamassas elaboradas com esta areia padrão.

As areias estudadas foram amostradas no Estado de São Paulo, inclusive em regiões da Grande São Paulo. Os locais onde se realizou a coleta das amostras estão apresentados na Figura 1.

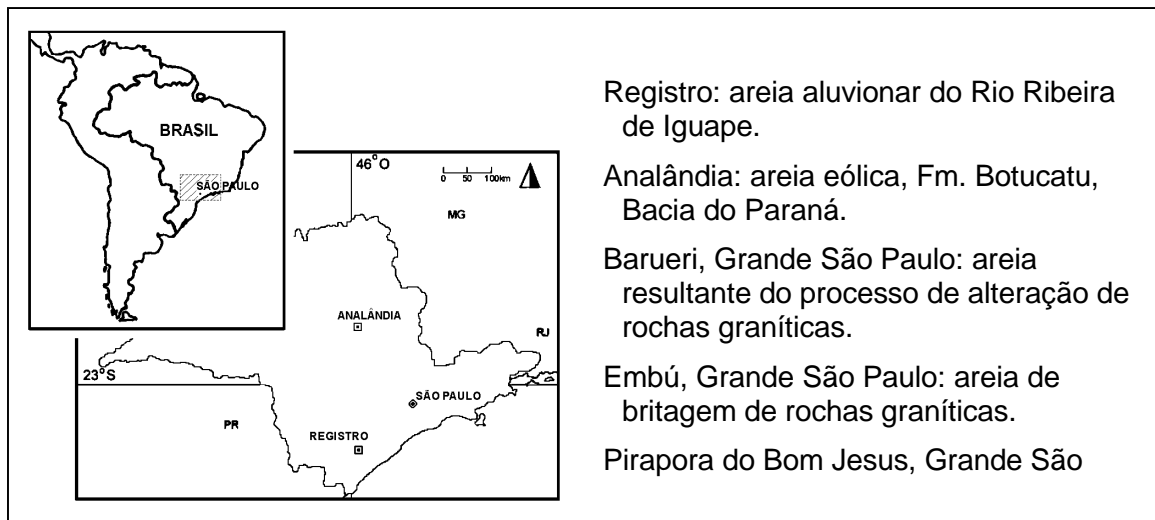


Figura 1. Locais de coleta das amostras

4. FINOS DE PEDREIRA

A areia resultante da britagem de rocha foi amostrada nas proximidades de Embú, em pedra de rochas incluídas nos terrenos de Fácies Cantareira, das Suítes Graníticas Sintectônicas do Proterozóico Superior.

A coleta foi feita na área da mineração Embú S.A. Engenharia e Comércio, na Estrada do DAE, km 30. O granito que aflora no local é desmontado com o emprego de explosivos para a produção de brita, que representa o produto principal desta empresa mineradora. Neste processo de cominuição da rocha, além da brita, são gerados os chamados finos de pedra, normalmente apresentando baixo valor agregado, e justamente por isso, considerados como rejeito.

Os trabalhos de cominuição das rochas geram cerca de 10% de finos do total de brita produzida, o que torna este material de grande interesse ao presente

estudo. Isto porque, se realmente ele for considerado adequado para o preparo de argamassas, passaria de rejeito para subproduto da mineração, dando assim, uma utilização para este grande volume de finos que gera poeira, ocupa espaço e provoca, além do desconforto visual, o assoreamento de drenagens se não for bem administrado (SOARES et al., 1996).

5. PROCEDIMENTOS DE LABORATÓRIO

Após a coleta das amostras para a realização dos ensaios de caracterização tecnológica programados, as areias passaram por um processo de preparação que compreendeu secagem, desagregação e homogeneização.

Os ensaios programados para a caracterização do material arenoso foram divididos em dois grupos principais: os normatizados, agrupando Análise da Distribuição Granulométrica e Determinação da Resistência à Compressão Simples, e os não normatizados, agrupando Avaliação Microscópica Óptica, Determinação da Granulometria por Difração Laser e Microscopia Eletrônica de Varredura.

6. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO E SEUS RESULTADOS

6.1. Análise da Distribuição Granulométrica

O ensaio de distribuição granulométrica foi feito segundo a Norma ABNT (1987): Agregados – determinação da composição granulométrica – Método de ensaio (NBR-7217). Com base nesta norma foi adotada a série de peneiras mais adequada aos objetivos deste trabalho. As peneiras utilizadas foram as do sistema Tyler e abrangeram as seguintes aberturas de malhas, em milímetros: 4,8 – 2,4 – 1,2 – 0,6 – 0,3 – 0,15.

A distribuição granulométrica de cada tipo de areia apresentou comportamento distinto com relação à série de peneiras, evidenciado pelas diferentes massas retidas em cada malha da série empregada neste ensaio. Vale ressaltar, que toda a fração menor que #100, (<0,15mm) foi considerada o fundo da seqüência de peneiras e, portanto, tal intervalo granulométrico não forneceu dados com relação às frações mais finas. Este fato pode ser observado nas curvas granulométricas de todos os tipos de areia. Para que este material fino fosse avaliado com mais critério, o mesmo foi analisado por Difração Laser cujos resultados serão abordados mais adiante.

A partir dos valores das massas retidas em cada malha da seqüência de peneiras, elaborou-se a distribuição granulométrica de cada areia. As curvas granulométricas dos diferentes tipos de areias foram unidas em único gráfico (Figura 2) para permitir melhor visualização e comparação das curvas obtidas.

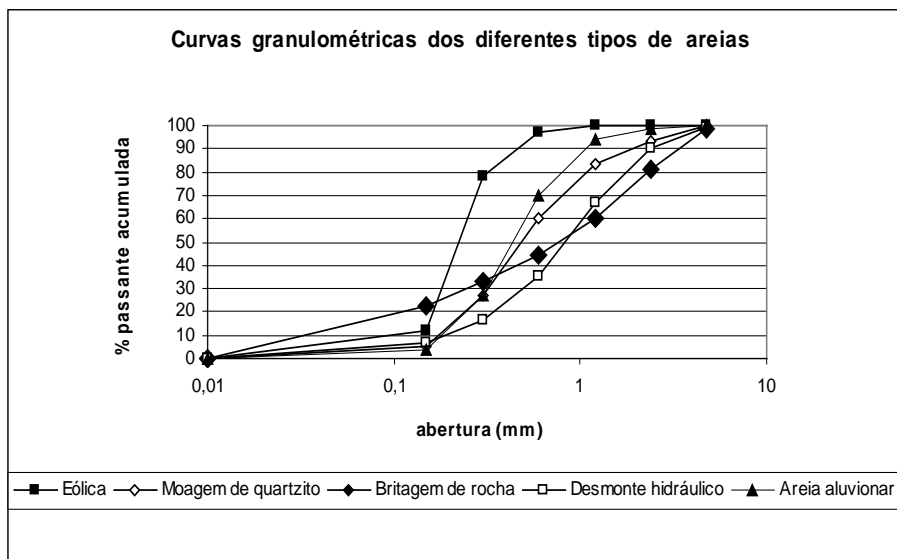


Figura 2. Curvas granulométricas dos diferentes tipos de areias estudados.

Observando-se a Figura 2, as curvas granulométricas das areias de leito de rio, moagem de quartzito e eólica são as que mostram a melhor seleção granulométrica, enquanto que as areias de britagem de rocha e de desmante hidráulico apresentam melhor distribuição granulométrica, ou seja, são pouco selecionadas, com quantidades bem mais equilibradas de material presentes em todas as malhas analisadas.

Ainda, com a somatória das porcentagens das massas retidas acumuladas em cada peneira, foi determinado o Módulo de Finura (MF). Assim, as areias foram classificadas como areias grossas, com $MF > 3,0$; areias médias, com $3,0 > MF > 2,0$ e areias finas, com $MF < 2,0$. A Figura 3 mostra gráfico comparativo dos valores dos Módulos de Finura obtidos para as diferentes areias analisadas, onde constata-se que apenas a areia eólica pode ser classificada como fina ($MF < 2$), enquanto que as demais são classificadas como areias médias ($2 < MF < 3$). Deve-se observar que as areias de leito de rio têm seu Módulo de Finura ($MF = 2,07$) praticamente no limite entre areia média e fina.

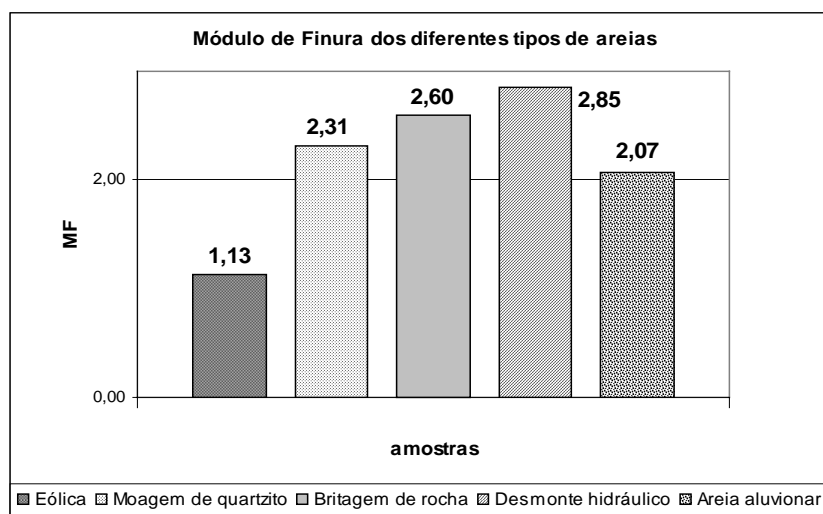


Figura 3. Módulo de Finura das areias estudadas

6.2. Determinação da Resistência à Compressão Simples

Para este ensaio de caracterização das argamassas, utilizou-se o cimento da marca Votoran, tipo CP-II-E-32. Primeiramente, foi adotado o traço para as argamassas: 1:6 (cimento:areia) em volume que, posteriormente, foi transformado no seu equivalente em massa. Em seguida, foi determinado o teor de água necessário para a realização do ensaio de determinação de consistência das argamassas. A consistência foi determinada usando-se a “flow table”, seguindo a Norma ABNT (1995): Argamassa para assentamento em paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência – Padrão (NBR-13276).

A seguir, seguindo a Norma ABNT (1995): Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à compressão simples - Método de Ensaio (NBR-13279), os corpos de prova foram moldados, com dimensões de 5cm de diâmetro e altura de 10cm e ficaram submersos durante os períodos predeterminados de cura: 7, 28 e 90 dias, quando foram então realizados os ensaios de resistência à compressão simples.

Para cada tipo de argamassa elaborada, ou seja, para cada tipo de areia estudada foram preparados 12 corpos de prova, totalizando assim 60 corpos. Para cada argamassa foram executados ensaios utilizando-se 4 corpos de prova para cada intervalo de cura: 7, 28 e 90 dias.

O ensaio de resistência à compressão simples foi executado empregando-se prensa hidráulica com velocidade de carregamento de 0,2 a 0,3 MPa/s. Não foram confeccionados corpos de prova com areia Normal Brasileira, pois esta já foi tema de muitos ensaios anteriores e como trata-se de uma areia padronizada, os resultados dos ensaios não sofrem variações significativas. Este trabalho utilizou os resultados destes ensaios para comparação de dados.

Para tecer comparações, a Figura 4 mostra as diferentes resistências à compressão simples apresentadas pelas argamassas após 7, 28 e 90 dias de cura. As resistências à compressão das argamassas produzidas com areia padrão também estão apresentadas no gráfico comparativo a seguir.

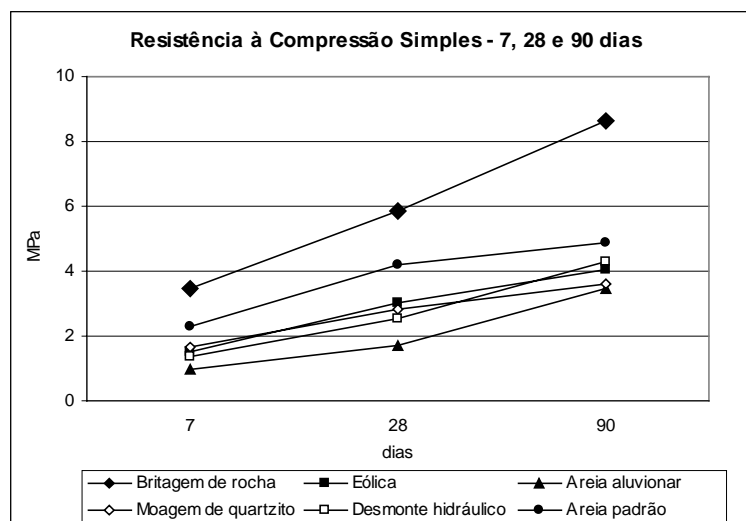


Figura 4. Gráfico comparativo de Resistência à Compressão Simples para argamassas estudadas

Observando-se os resultados obtidos constata-se um crescimento da resistência à compressão de todas as argamassas à medida que os períodos de cura em câmara úmida aumentaram. A resistência à compressão aos 7 dias, para as seis argamassas, não ultrapassou o valor de 4MPa, enquanto que para o último período de cura (90 dias) os valores de resistência para quase todas as argamassas foram maiores que 4MPa. Entretanto, fica clara a diferença de resistência à compressão da argamassa preparada com areia resultante da britagem de rocha. Esta argamassa, quando comparada às demais, destaca-se com valores praticamente ao dobro dos outros cinco tipos estudados. Este fato pode ser comprovado inclusive com a observação do valor de resistência da argamassa preparada com areia resultante da britagem, quando comparado com o valor de resistência da areia de desmonte hidráulico.

Deve-se assinalar o incremento da resistência à compressão mostrado pela areia de britagem de rocha, que apresentou ganho de 147% na resistência à ruptura após 90 dias de cura em relação à resistência após 7 dias. Já as areias aluvionares e de desmonte hidráulico apresentaram ganho de 262% e 212% de resistência, respectivamente, porém com valores absolutos mais baixos.

Comparando-se os resultados obtidos com a argamassa de areia padrão, observou-se valores invariavelmente mais altos da argamassa elaborada com areia de britagem de rocha, mostrando diferença de 3,72 MPa em 90 dias de cura. Além disso, os valores da argamassa padrão são bastante próximos aos das demais argamassas estudadas, principalmente aos 90 dias.

Finalmente, a argamassa preparada com areia de leito de rio mostrou, aos 7, 28 e 90 dias, os menores valores de resistência à compressão quando comparada aos outros tipos de argamassa. No entanto, ao longo dos períodos de cura, a resistência desta argamassa apresentou o maior crescimento progressivo entre todos os materiais estudados.

6.3. Avaliação Microscópica Óptica

A avaliação por microscopia óptica foi realizada através de lupa, da marca Zeiss, modelo STEMI SV11, que possibilita aumento variável entre 6 e 66 vezes e que é acoplada a um microcomputador e uma câmera para captar imagens. Devido ao aumento fornecido pela lupa, apenas três frações granulométricas foram escolhidas para esta avaliação: #28 (0,6mm), #48 (0,3mm) e #100 (0,15mm). Os grãos das frações maiores que #28 mostraram-se muito grandes, mesmo usando-se o menor aumento da lupa, não sendo, portanto, material que proporcionasse um bom resultado óptico.

Para cada fração, foram analisados, no mínimo, 100 grãos de areia, quantidade esta considerada ideal para os objetivos a serem alcançados no presente estudo que era a observação da morfologia dos grãos, ou seja, o grau de arredondamento, a esfericidade, assim como a textura superficial.

O grau de arredondamento dos grãos foi fornecido pelo programa "QWIN", do equipamento da marca *Leica*. O arredondamento calculado pelo programa QWIN, é função do perímetro e da área de cada grão (*Leica QWIN*, 1996) e é representado em um intervalo de 0,1 a 1,0, sendo que o grão que apresenta grau de arredondamento 0,1 é o mais anguloso e o que apresenta arredondamento 1,0 é o mais arredondado.

Assim, a observação óptica dos grãos dos diferentes tipos de areias, em conjunto com a classificação numérica do arredondamento fornecida pelo programa QWIN, foi utilizada para comparação e complementação da classificação nominal do grau de arredondamento segundo RUSSELL; TAYLOR (1937), como mostra a Figura 6.





Russell & Taylor	Leica QWIN
 Angular	0,1 e 0,2
 Subangular	0,3 e 0,4
 Subarredondado	0,5 e 0,6
 Arredondado	0,7 e 0,8
 Bem arredondado	0,9 e 1,0

Figura 6. Avaliação conjunta da determinação do grau de arredondamento

Após a análise feita em todas as areias, pôde-se constatar que a areia de britagem de rocha foi o único tipo que apresentou material angular nas frações granulométricas escolhidas. A areia de desmonte hidráulico mostrou grãos subangulares em pequena quantidade e a areia eólica apresentou somente material arredondado e bem arredondado. Já a areia de moagem de quartzito e a aluvionar são muito similares, com grãos subarredondados, arredondados e bem arredondados. Com relação à esfericidade, as areias de britagem de rocha, aluvionar e de moagem de quartzito mostraram esfericidade média, enquanto a eólica e a de desmonte hidráulico, alta esfericidade.

6.4. Determinação da Granulometria por Difração Laser

Para esta análise granulométrica, realizada para os diferentes tipos de areias, utilizou-se do “Analisador de Partículas Malvern 3600 Ec”, equipamento que possui boa precisão para partículas de até 1,2 μ m, constituído por uma unidade óptica de medida e um computador que processa os dados, fornecendo a distribuição de tamanhos de partículas sólidas na faixa de 0,5 a 564 μ m em meio líquido (água deionizada). A técnica utilizada neste trabalho foi a Técnica de Espalhamento de Luz (Difração de Raios Laser) e as amostras utilizadas para esta análise de granulometria foram aquelas resultantes da classificação granulométrica, representantes da fração inferior à malha #100 (<0,15mm).

A distribuição granulométrica do material mais fino está de acordo com o que foi discutido anteriormente sobre a distribuição da granulometria do material como um todo. Pelas curvas geradas nesta análise, pode-se afirmar que as areias de desmonte hidráulico e de britagem de rocha mostram as melhores distribuições granulométricas e portanto, as melhores curvas de distribuição, bem equilibradas (material representativo em praticamente todos os intervalos de diâmetro de partícula) e com crescimento suave. Ao contrário, das outras três amostras (eólica, de leito de rio e de moagem de quartzito) apresentam boa seleção e portanto, má distribuição granulométrica, com curvas de crescimento abrupto, concentrando a maior parte do material em poucos intervalos de diâmetro de partículas. A Figura 7 exhibe as curvas granulométricas para o material mais fino (< 0,15mm).

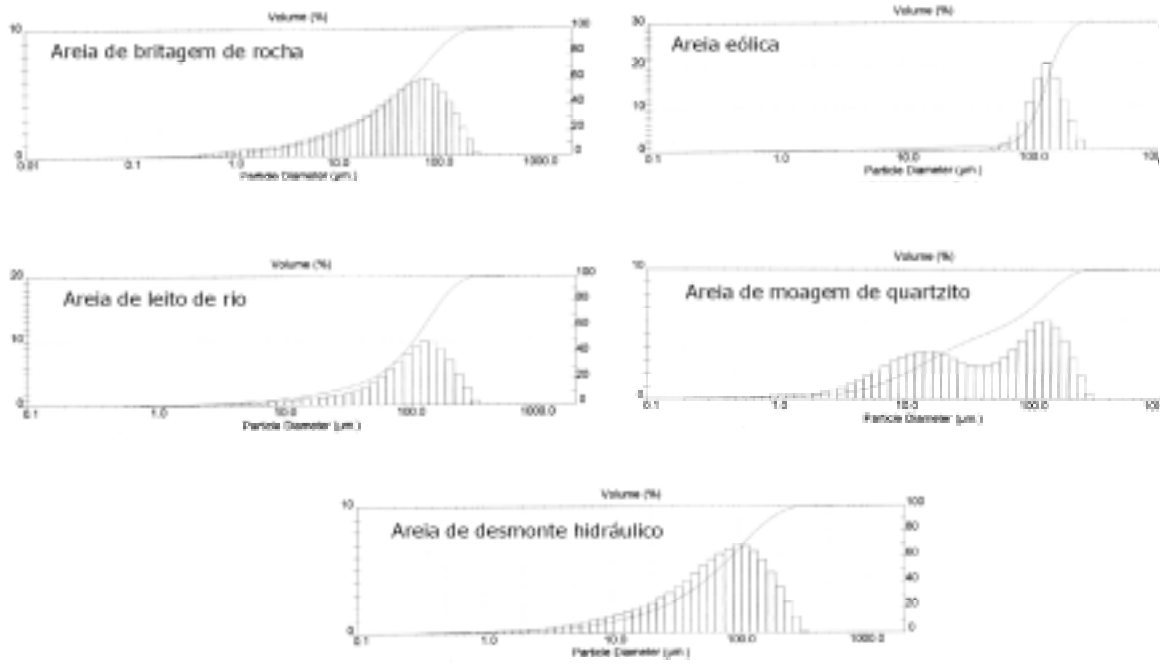


Figura 7. Curvas granulométricas obtidas por difração laser do material arenoso fino (< 0,15mm)

6.5. Microscopia Eletrônica de Varredura

Na etapa da moldagem dos corpos de prova, para a realização dos ensaios de resistência à compressão simples, foi elaborado um corpo de prova a mais para cada tipo de areia que foi utilizado para a preparação de lâminas delgadas para a realização deste ensaio.

Um dos objetivos desta análise era o de observar o comportamento do cimento em relação ao grão de areia, ou seja, se a massa de cimento envolveu por completo os agregados finos e se era visível a presença de porosidade ou zonas de fraqueza. Esta avaliação também teve o objetivo de verificar a formação de neominerais originados a partir da reação entre álcalis ativos disponíveis do cimento e os minerais dos agregados.

Várias imagens foram obtidas nesta etapa, e algumas delas foram selecionadas por representarem de forma objetiva os resultados desta análise.

A imagem da Figura 8 mostra argamassa confeccionada com areia de britagem de rocha, com aumento de 55 vezes. Pode-se observar o bom envolvimento dos grãos de areia pelo cimento representado pela massa de cor cinza mais escuro, sem que nenhuma superfície dos grãos ficasse sem contato com esta massa. Isto pode ser visto tanto para os grãos maiores como para os menores. Este perfeito envolvimento permite que a argamassa apresente uma melhor resistência, pois não ocorrem vazios ou eventuais zonas de fraqueza. É possível também observar nesta massa, a presença de grãos mais angulosos, o que favorece o embricamento dos mesmos.

Em análises de pequenos aumentos, de até 500 vezes, não se constatou a presença de neominerais formados no contato dos grãos com os álcalis de cimento. Para que isto fosse verificado, foram analisadas imagens com aumentos de até 10.000 vezes. A Figura 9 mostra grão de areia de

aproximadamente 12 μ m de diâmetro, envolto pelo cimento. Pode-se observar que o grão não apresenta qualquer superfície de corrosão ou neominerais formados ao seu redor.

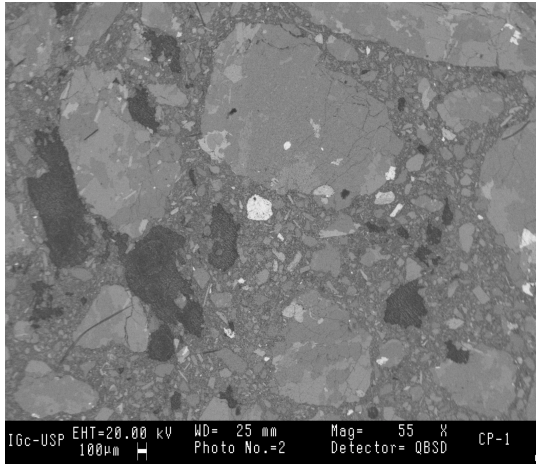


Figura 8 - Fotomicrografia -
Aumento 55X.

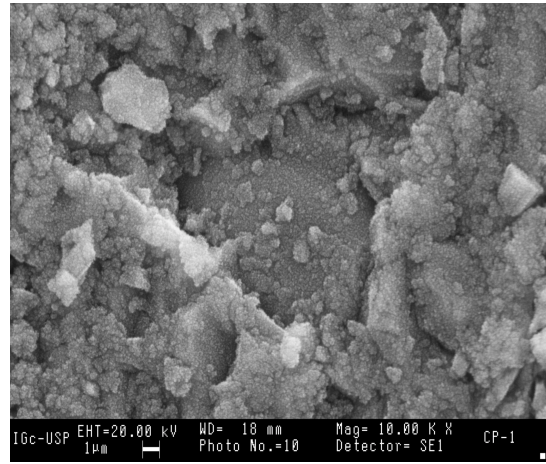


Figura 9 - Fotomicrografia -
Aumento 10.000X.

7. CONCLUSÕES

Tomando como base todos os dados obtidos e discutidos, pode-se concluir que todas as areias estudadas neste projeto se prestam à utilização para preparação de argamassas.

No entanto, como o enfoque principal deste trabalho era o de mostrar a possibilidade de que a areia resultante da britagem de rocha granítica-gnáissica pudesse ser utilizada para fabricação de argamassas, algumas características fundamentais desta areia, identificadas ao longo deste projeto, devem ser ressaltadas:

- 1) boa distribuição granulométrica, o que permite melhor preenchimento de vazios deixados por grãos maiores e portanto, confecção de argamassas com menores quantidades de cimento, propiciando assim, maior economia para a obra que utiliza este tipo de agregado;
- 2) grau de arredondamento apresentando grãos desde angulares até bem arredondados, característica importante no que diz respeito ao embricamento dos grãos. Quanto melhor o embricamento, mais resistente será a argamassa;
- 3) não apresentou qualquer dificuldade na obtenção do índice de consistência da massa de argamassa ("flow"), tornando fácil seu manuseio;
- 4) mostrou boa trabalhabilidade, pois os corpos de prova para determinação da resistência à compressão simples foram moldados sem qualquer dificuldade, provando com isso que a argamassa será facilmente trabalhada em qualquer obra;
- 5) mostrou valores de resistência à compressão simples relativamente altos quando comparados aos valores de resistência das outras areias analisadas, inclusive a areia padrão – IPT;

- 6) os grãos foram totalmente envoltos pela massa de cimento, proporcionando assim, melhor ligação entre agregado e aglomerante e conseqüentemente, maior resistência da argamassa e
- 7) não apresentou neominerais formados pelos grãos do agregado devido à reação com os álcalis do cimento, não apresentando assim, zonas de fraqueza.

É importante ressaltar que a areia resultante da britagem de rocha é considerada rejeito pelas minerações de brita, sendo portanto, pouco utilizada nas construções civis. A quantidade de finos gerada no processo de cominuição da rocha atinge cerca de 10% da quantidade de brita produzida. Dentro da Região Metropolitana da Grande São Paulo, operam aproximadamente 40 minerações de brita que geram estes chamados finos de pedreira e que causam poluição visual, assoreamento de drenagens, emissão de material particulado na atmosfera além de ocupar grandes áreas da própria mineração que são tomadas para estocar grandes quantidades deste material.

Portanto, tendo sido mostrado que a areia de britagem de rocha é um material adequado para o preparo de argamassas, espera-se que estes rejeitos venham a se constituir em subproduto da mineração. Este material terá assim um valor agregado e sua utilização reduzirá parte dos problemas ambientais, a partir do momento que as pilhas de estoque se esgotarem ou diminuirão.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil. (2000). Vale do Paraíba: maior região produtora de areia do país. Publicação Areia & Brita. n.10, p.5-19.
- BORN, H.; SOARES, L.; BRAGA, J.M.S. (1996). Caracterização tecnológica dos materiais de construção de jazida localizada em área urbana, São Paulo-SP. In: Congresso Ítalo-brasileiro de Engenharia de Minas, 4. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS; p.323-331.
- FUJIMURA, F.; SOARES, L.; HENNIES, W.T. & SILVA, M.A.R. (1996). Environmental issue and profitable uses of stone quarry fines. In: SWEMP, 4. Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production. Ed. R.Ciccu. Cagliari, Italy; p.959-966.
- LEICA QWIN (1996). User Guide. In: Glossary of Image Analysis Terminology. Leica Imaging Systems Ltd. Cambridge. p. G-1 a G-30.
- RUSSELL, R.D.; TAYLOR, R.E. (1937). Bibliography on roundness and shape of sedimentary rock particles. Rept. Comn. Sedimentation. 1936-1937. p. 65-80.
- SBRIGHI NETO, C.; SOARES, L. (1996). The use of crushing rock dust in Portland cement concrete production. In: SWEMP, 4. Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production; Ed. R.Ciccu. Cagliari, Italy, p.1041-1048.
- SOARES, L.; FUJIMURA, F.; HENNIES, W.T. & SILVA, M.A.R. (1996). Change of natural sands by fine crushing material of granitic and gneissic rock quarries. In: Proceedings of the Fifth International Symposium on Mine

Planning and Equipment Selection. Universidade de São Paulo, SP; p.701-706.

SOARES, L.; FUJIMURA, F.; BLASQUES JÚNIOR, M.; RACHEL, R.M. & BRAGA, J.M.S. (1997). Areias naturais: material de construção cada vez mais escasso na Região Metropolitana da Grande São Paulo. In: Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais, 2; São Paulo. Anais, São Paulo, ABM.

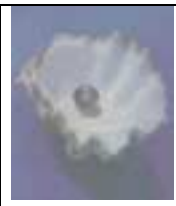
VALVERDE, F.M. (1999). Mineração de areia e brita e a preservação ambiental. In: Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil, 2. 09 de junho de 1999. São Paulo. Anais. p.87-101.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**VALORIZAÇÃO DO REJEITO DA PEDREIRA MUNICIPAL DE
PIRENÓPOLIS (GO) COMO PROPOSTA DE RECUPERAÇÃO
AMBIENTAL**

SILVA, Paulo Augusto Diniz (1); **PASTORE**, Eraldo Luporini (2)

- (1) Professor da área de Construção Civil do CEFET-GO. pad@cefetgo.br
(2) Professor Adjunto da Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia. epastore@unb.br

Palavras-chave: desenvolvimento sustentável, materiais de construção, recuperação ambiental, pedra, pavimentação

RESUMO

O artigo tem como proposta apresentar uma alternativa tecnológica para a recuperação ambiental da Pedreira Municipal de Pirenópolis (GO), a partir do aproveitamento do rejeito da pedra na forma de agregados (britas e areias), para o uso direto na construção civil, levando em conta as condições sócio-econômicas e os conhecimentos tecnológicos da comunidade envolvida. Deseja-se, com a incorporação de uma unidade de beneficiamento, que o impacto da exploração do quartzito ornamental seja minorado, levando a um maior aproveitamento dos recursos naturais não renováveis, e ainda, que a alternativa encontrada seja um fator indutor de novos empreendimentos e de geração de empregos.

De modo a caracterizar tecnologicamente o rejeito da pedra apresenta-se no artigo, além dos ensaios realizados, uma análise dos resultados encontrados. Através desta análise verifica-se que os agregados se, por um lado, não atendem satisfatoriamente a norma brasileira para uso como agregado de concreto, por outro são apropriados para a estabilização granulométrica de solos em pavimentos.

1. INTRODUÇÃO

A cidade de Pirenópolis localiza-se na região Centro-Oeste do Brasil, no Estado de Goiás, distante 121 km ao norte de Goiânia e a 126 km a oeste de Brasília. Nascida de um pequeno arraial minerador do início do século XVIII e encrustada aos pés da Serra dos Pirineus, Pirenópolis constitui-se hoje em um dos mais ricos acervos patrimoniais do Centro-Oeste, tendo sido tombada pelo Patrimônio Histórico e Artístico Nacional em 1988.

A área da chamada Pedreira da Prefeitura está situada a 4 km a oeste do perímetro urbano, com aproximadamente 26 ha, na margem direita do Rio das Almas. Seu “*layout*” – mina a céu aberto – conta com um grande número de cavas (local onde se realiza a exploração da pedra) e de depósitos de rejeitos distribuídos aleatoriamente sobre a área.

Em função do desconhecimento das características do jazimento, a atividade é desenvolvida sem um plano de aproveitamento econômico, o que conduz a um baixo aproveitamento do bem mineral. A atividade é caracterizada pela inexistência de uma organização formal, com ações individuais ou de grupos (cooperativas, etc.) envolvendo um contingente de aproximadamente duas mil pessoas, a maior parte ocupada diretamente da extração. Parte deste contingente é empregado por 14 empresas através de contrato de trabalho assalariado e outra parte é formada por produtores autônomos.

A inexistência de gestão ambiental nas operações de lavra tem comprometido substancialmente a coexistência entre a atividade e o meio ambiente. Apesar da aparente fragilidade da atividade, a Pedreira da Prefeitura responde por cerca de 40% da produção municipal e é a segunda fonte principal de tributos do município. Sua produção é escoada para todo o Brasil, sendo o estado de São Paulo seu principal mercado consumidor.

2. O BEM MINERAL

O bem mineral explorado na Pedreira da Prefeitura é o quartzito ornamental que é oferecido ao mercado consumidor na forma de lajes e retalhos (pedras aparelhadas: rústico e lavrado), utilizados em alvenaria e cantaria, especialmente em revestimentos internos e externos. Estas lajes e retalhos tem geralmente espessuras inferiores a 5 cm. As lajes apresentam uma geometria regular, e os retalhos por sua vez, não têm dimensões definidas. Ainda são oferecidos os seguintes produtos: “pés-de-moleque”, que são utilizados nos calçamentos, e pedras de alicerce, utilizadas como elemento de fundação e como paralelepípedos (meios-fios). A coloração exibida pelos quartzitos compreende tons branco, verde, amarelo e vermelho.

3. O PANORAMA AMBIENTAL

A atividade mineira produz significativa degradação do meio ambiente. Os impactos são evidenciados tanto no meio físico quanto no biótico e no sócio-econômico. O meio físico, associado ao meio sócio-econômico, é o que mais reflete os impactos negativos do potencial modificador da lavra e beneficiamento do bem mineral.

O efeito negativo da degradação visual é o mais expressivo. A exposição do manto rochoso da cava de exploração e dos bota-foras criou um cenário desértico, de aspecto árido, semelhante ao de um lixão, contracenando com a paisagem natural. A localização de algumas cavas e de alguns depósitos de rejeito nas proximidades dos cursos d'água, principalmente do Rio das Almas, ocasiona o soterramento da vegetação (mata ciliar) e do canal da rede hidrográfica, estabelecendo um habitat diferente do natural. As vias de acesso às cavas interceptam vários talwegues, deslocando o fluxo de recarga, promovendo erosões lineares, as quais removem a camada superficial de solo e, conseqüentemente, erradicam a vegetação nativa.

Um estudo topográfico realizado no local estimou que a pedreira acumulou, ao longo dos anos, um volume de rejeito de 260 mil m³, ocupando cerca de 60% de sua área. Tal constatação indica que o rejeito vem inviabilizando a atividade mineradora e que a valorização desse, além de ser uma questão ambiental, é fundamental para a continuidade do empreendimento.

4. VALORIZAÇÃO DO REJEITO

Sabendo-se de antemão que o crescimento de consumo de agregados britados tem levado a uma procura de novas fontes de extração para atender às necessidades da construção civil e que nem toda ocorrência rochosa oferece condições técnico-econômicas para sua utilização, além do fato de que uma nova área de extração mineral implica em uma nova área degradada, considerou-se oportuno estudar o aproveitamento dos rejeitos das pedreiras de Pirenópolis de modo a viabilizar seu aproveitamento como um bem de valor econômico, promovendo, ao mesmo tempo, a recuperação ambiental das áreas mineradas.

Com este objetivo e aproveitando as características desse tipo de rejeito, as quais, em princípio, os tornariam promissores, uma vez beneficiados, para uso como agregados na construção civil, procurou-se, no estudo da valorização, identificar, de início, os tipos de agregados mais consumidos pelo mercado.

Como resultado desta pesquisa inicial verificou-se que entre os agregados mais comumente consumidos encontram-se os agregados graúdos de graduação "1" e "0" (comercialmente denominados de brita 1 e 0) e os agregados miúdos de maior graduação possível (denominados areias).

4.1. Beneficiamento

Uma vez identificados os agregados mais comumente consumidos pelo mercado da construção civil, realizou-se o estudo do beneficiamento do rejeito visando conhecer as características tecnológicas dos agregados resultantes da britagem dos rejeitos.

O estudo do beneficiamento do rejeito desenvolveu-se em duas etapas: a etapa inicial objetivou determinar a abertura ideal da mandíbula do britador (em escala de laboratório) para produzir os produtos pretendidos a etapa final objetivou determinar a seqüência de tratamentos necessários para a produção dos agregados.

5. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS

As propriedades estudadas para os agregados nesse trabalho foram às mesmas exigidas pela ABNT (1983), norma que fixa as condições mínimas para o emprego de agregados na produção de concretos e argamassas. As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados da caracterização física dos agregados.

Tabela 1 – Resultados da caracterização física dos agregados.

Ensaio	Quartzito Branco			Quartzito Vermelho	Especificação NBR 7211/83
	Brita 1	Brita 0	Areia Fina	Areia Fina	
Classificação Granulométrica					-
Módulo de Finura	7	6	2,36	2,27	-
Dimensão Máxima (mm)	19,1	9,5	4,8	4,8	-
Índice de Forma	2,81	-	-	-	< 3
Peso Específico Seco (kN/m ³)	26,05	25,91	26,46	26,53	-
Peso Específico Saturado (kN/m ³)	26,37	26,36	-	-	-
Absorção (%)	1,24	1,73	0,15	0,16	-
Peso Esp. Aparente Solto (kN/m ³)	14,10	14,08	15,24	14,23	-
Peso Esp. Aparente Compacto (kN/m ³)	14,93	15,40	-	-	-
Coeficiente de Inchaço			1,48	1,45	-
Umidade Crítica (%)	-	-	3,4	4,3	-
Material Pulverulento (%)	-	-	4,3	5,3	< 7%
Material Friável (%)	-	-	3,3	3,4	< 3%
Abrasão Los Angeles (%)	58	64	71	66	< 50%

Tabela 2 – Resultados da caracterização física dos agregados

Ensaio	Quartzito Verde			Quartzito Amarelo	Especificação NBR 7211/83
	Brita 1	Brita 0	Areia Fina	Areia Fina	
Classificação Granulométrica					-
Módulo de Finura	7	6	2,41	1,82	-
Dimensão Máxima (mm)	19,1	9,5	4,8	4,8	-
Índice de Forma	2,85	-	-	-	< 3
Peso Específico Seco (kN/m ³)	26,05	26,44	26,46	26,46	-
Peso Específico Saturado (kN/m ³)	26,26	26,74	-	-	-
Absorção (%)	0,91	1,12	0,07	0,14	-
Peso Esp. Aparente Solto	14,47	14,46	16,25	13,81	-

(kN/m ³)					
Peso Esp. Aparente Compacto (kN/m ³)	14,73	14,82	-	-	-
Coeficiente de Inchamento	-	-	1,54	1,49	-
Umidade Crítica (%)	-	-	4,7	5,0	-
Material Pulverulento (%)	-	-	4,4	5,3	< 7%
Material Friável (%)	-	-	3,8	2,6	< 3%
Abrasão Los Angeles (%)	48	53	66	88	< 50%

Dos resultados apresentados, devem ser ressaltados os dois últimos itens destas tabelas: o teor de materiais friáveis e a resistência de desgaste à abrasão Los Angeles.

Quanto à friabilidade, que é a capacidade de um agregado manter sua integridade, verifica-se pelos resultados que os agregados miúdos não cumprem às exigências de norma. Essa má qualidade das areias é associada à natureza das rochas quartzíticas que lhes emprestam a forma. Sendo assim, pouco se pode fazer para solucionar o problema. Acredita-se que em um processo industrial utilizando-se britadores mais adequados à produção de areias artificiais, essas partículas friáveis venham a desaparecer ou ao menos diminuir.

Quanto à resistência de desgaste à abrasão Los Angeles, também os agregados não cumprem às exigências de norma, a menos da brita 1 do quartzito verde.

Apesar do ensaio “Los Angeles” contemplar a execução de materiais de graduação miúda – graduação “D”, o resultado do índice de desgaste à abrasão deve ser visto com reserva. Segundo NEVILLI (1997), o ensaio “Los Angeles” não é próprio para avaliar o comportamento do agregado miúdo, fato que ainda não foi elucidado, merecendo estudos para sua corroboração.

Em relação às britas, estas demonstraram que existe uma evolução na qualidade à abrasão, à medida que a graduação se torna mais grossa.

Apesar desses índices desqualificarem os agregados, segundo a norma da ABNT, o seu emprego na construção civil merece ainda maiores estudos que possam viabilizar o emprego dos mesmos como agregados de concreto e argamassa alternativos.

A Figura 1 apresenta as curvas granulométricas finais dos agregados graúdos (linha contínua) e as faixas granulométricas estabelecidas (linha tracejada) em que eles se enquadram, podendo-se verificar que os agregados graúdos enquadram-se perfeitamente nos limites granulométricos (graduação 1 e 0). Já a Figura 2 mostra as granulometrias finais dos agregados miúdos (linha com pontos) e as faixas granulométricas estabelecidas (linha lisa) em que eles se enquadram. No caso das areias, a graduação conseguida foi de zona 2 – agregado miúdo de graduação fina.

Com exceção da areia de quartzito vermelho, todas as demais areias apresentam um certo desvio. Suas curvas granulométricas ultrapassam os limites estabelecidos. Porém, esses desvios granulométricos podem ser solucionados acrescentando-se uma outra etapa no processo de beneficiamento. A retirada do excesso de finos poderia ser suficiente para ajustar as curvas perante os limites estabelecidos.

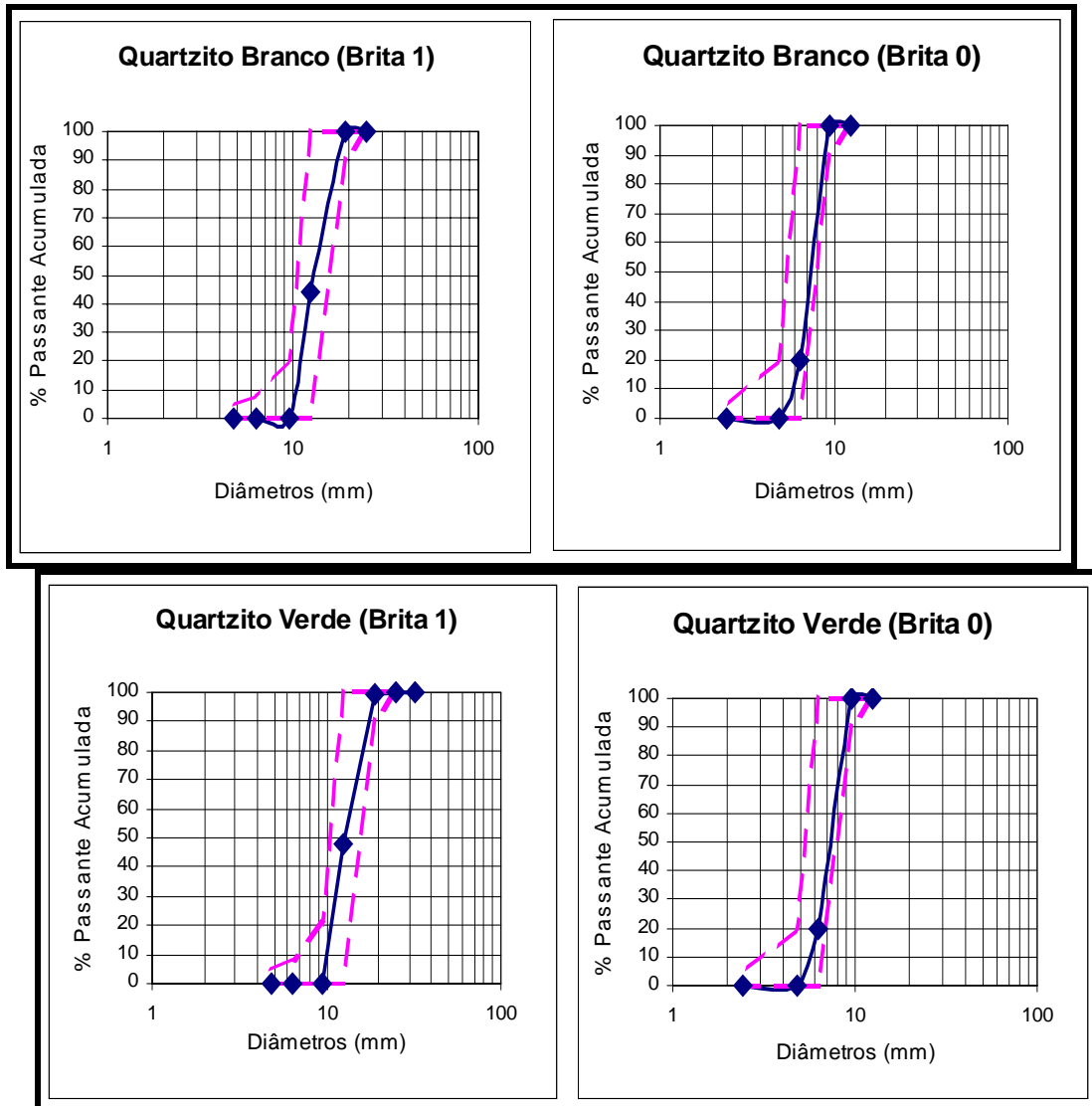


Figura 1– Distribuição granulométrica dos materiais e suas respectivas graduações.

6. APLICAÇÃO

Entre as diversas aplicações dos agregados como material de construção, pode-se citar o seu emprego na produção de concretos e argamassas Portland, concretos asfálticos e na estabilização granulométrica de camadas de pavimentos rodoviários. Em vista dos resultados pouco satisfatórios obtidos nos ensaios de agregados para concreto, o trabalho voltou-se ao estudo da aplicação dos agregados dos rejeitos da pedreira de Pirenópolis como agregados para estabilização granulométrica de solos em pavimentação, julgando-se ser este o emprego mais promissor para este material.

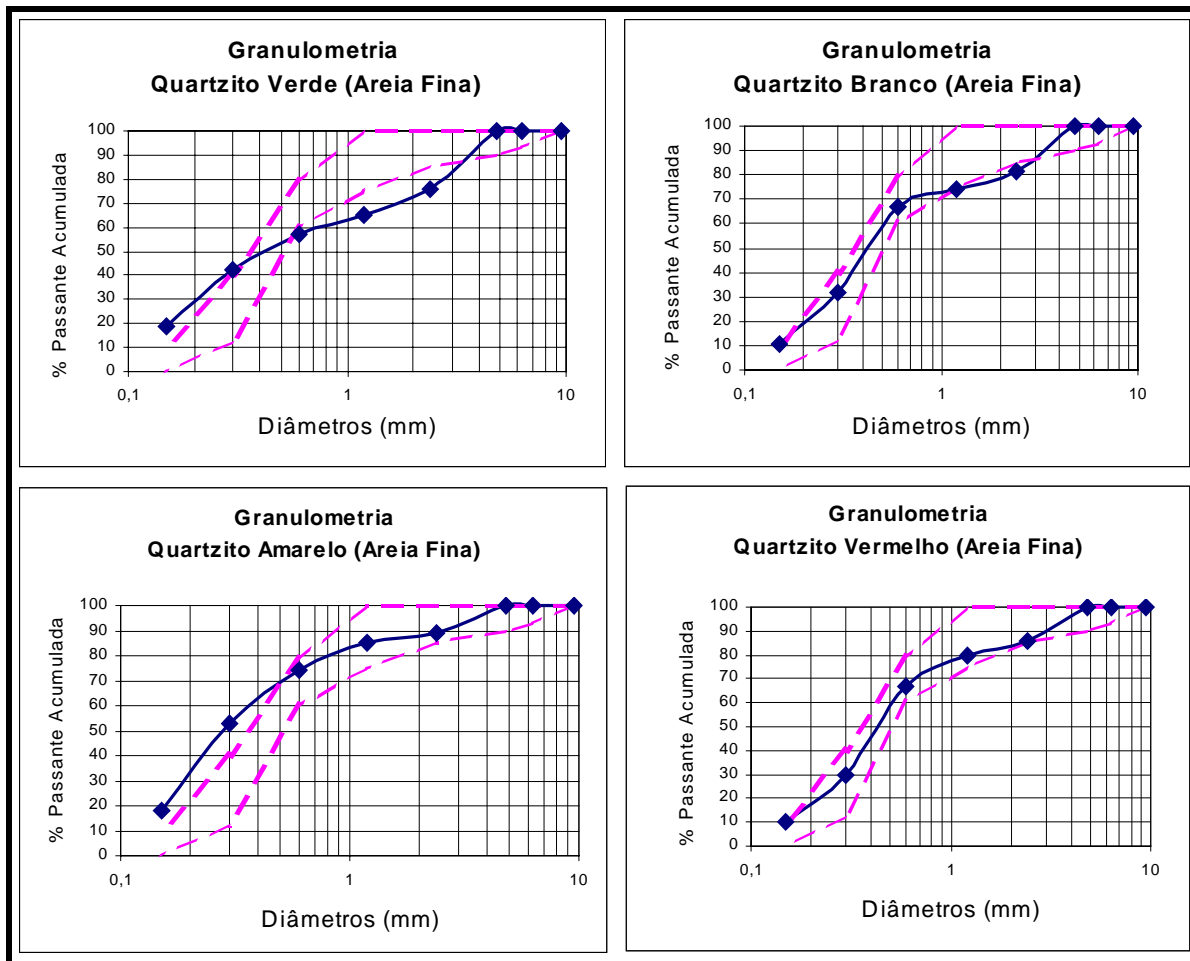


Figura 2 – Distribuição granulométrica dos materiais e suas respectivas graduações.

A estabilização granulométrica consiste em fabricar um material a partir da mistura de vários materiais, alterando as características físicas e mecânicas do material a ser estabilizado, cuja proporção dos materiais tem a finalidade de obter o traço do produto, ou melhor, as quantidades relativas com as quais cada material contribuirá na composição da mistura.

O estudo desenvolveu-se em duas etapas: na primeira, procurou-se caracterizar as propriedades geotécnicas do solo a ser estabilizado. Para tal, foram coletadas amostras do solo que ocorre em uma área urbana em franca expansão na cidade de Pirenópolis. Na segunda etapa procedeu-se ao estudo propriamente da estabilização granulométrica do solo escolhido.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados dos ensaios geotécnicos do solo “in natura” e do estudo da estabilização granulométrica.

Tabela 3 – Resumo dos parâmetros geotécnicos do solo estudado

Resumo Geral	
Parâmetros de Compactação (energia Proctor Normal)	
Peso específico seco máximo	17,5 kN/m ³
Umidade ótima	16,4 %
ISC	6 %
Expansão	0 %
Índices de Consistência	
Limite de liquidez	27 %
Limite de plasticidade	18 %
Índice de plasticidade	9 %
Peso específico dos sólidos	27,0 kN/m ³
Parâmetros Granulométricos	
% passada na peneira # 4,8 mm	100%
% passada na peneira # 2,0 mm	100%
% passada na peneira # 0,42 mm	91%
% passada na peneira # 0,074 mm	47%
Classificação Geotécnica	
AASTHO	A – 4 (IG = 6,5)
USCS	SC
Textural	Areia silto-argilosa vermelha
Plasticidade	Mediamente plástica

O estudo da estabilização revelou o potencial de emprego desses agregados na estabilização granulométrica de solos, fato verificado quando se compara o valor de ISC do solo *“in natura”* com o do solo estabilizado granulometricamente. O ISC do solo passa de 6% para 90%. Segundo a ABNT (1991), o índice de suporte Califórnia (ISC) que os materiais devem apresentar são: para sub-base – $ISC \geq 20\%$ e para bases – $ISC \geq 60\%$. Verifica-se, então, que os agregados de quartzito podem ser empregados nos dois casos, tanto para a produção de base, quanto para produção de sub-base de pavimentos rodoviários.

Tabela 4 – Resultado final da estabilização granulométrica.

Resultado Final					
Estabilização Granulométrica					
Quartzito Branco			Quartzito Verde		
Material		Porcentual	Material		Porcentual
Solo típico		15%	Solo típico		15%
Agregados	Areia	31%	Agregados	Areia	34%
	Brita 0	25%		Brita 0	22%
	Brita 1	29%		Brita 1	30%
Parâmetros de Compactação (energia Proctor intermediário)					
Peso específico seco max. (médio)		21,0 kN/m ³	Peso específico seco max. (médio)		21,4 kN/m ³
Umidade ótima (média)		7,7 %	Umidade ótima (média)		7,5 %
ISC (médio)		90 %	ISC (médio)		88 %
Expansão (média)		0 %	Expansão (média)		0 %

É importante salientar que o presente estudo não tem a intenção de gerar um projeto de solo estabilizado granulometricamente. Este, limitou-se a determinar apenas a dosagem piloto – dosagem de partida para um projeto – devendo ser visto como uma proposição de emprego dos agregados.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A *priori*, a alternativa tecnológica encontrada mostrou-se bastante acessível do ponto de vista da capacidade sócio-econômica e tecnológica da comunidade envolvida, uma vez que essa tem como principais características:

- Tecnologia de fácil incorporação no processo produtivo ali desenvolvido;
- Montante orçamentário para a instalação de uma unidade de britagem passível de viabilização pela própria comunidade (Prefeitura, associações, pequenas empresas, etc.);
- Apesar dos índices (material friável e desgaste a abrasão) desqualificarem os agregados, segundo a ABNT (1983) o seu emprego na construção civil necessita de mais estudos e de conveniência ambiental, podendo-se vislumbrar seu emprego em obras de pavimentação de vias urbanas, estradas vicinais, na produção de artefatos de concretos, etc;

Acredita-se que com a proposta de agregar um valor comercial ao rejeito, a sustentabilidade ambiental da pedreira seja assegurada, e ainda, que a tecnologia aqui defendida seja incentivada e difundida para o controle e recuperação ambiental na mineração.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1983). Agregados para Concreto. NBR 7211, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 8 p.

ABNT (1991). Materiais pa Sub-base ou de Base de Pavimentos Estabilizados Granulometricamente. EB 2103, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 2 p.

SILVA, P.A. D. (2000). Estudos Geotécnicos na Recuperação Ambiental da Pedreira Municipal de Pirenópolis. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-074A/00, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, UnB, DF, 142 p.

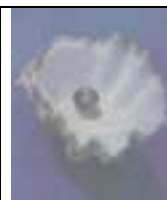
NEVILLE, A.M. (1997). Propriedades do Concreto. Pini, São Paulo, SP, 828 p.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS NA MINA DE CANA BRAVA - GO

QUEIROGA, Normando Claudino Moreira (1)

(1) Geólogo, Chefe do Departamento de Geologia da SAMA – Mineração de Amianto Ltda. Av. Central, casa L-04, Minaçu – GO, CEP 76450-000.
E-mail ncqueiroga@sama.com.br

Palavras-chave: amianto, recuperação de áreas degradadas, resíduos de amianto.

RESUMO

O presente trabalho apresenta aspectos do resultado prático de preservação ambiental da SAMA, que tem como um dos seus compromissos, assumido quando da implantação de seu sistema de gestão ambiental, a minimização dos impactos causados pela sua atividade de extração.

A forma do planejamento da construção das pilhas de bota-fora de estéril e rejeito e a posterior implantação da cobertura vegetal de seus taludes são exemplos de ações inovadoras e que extrapolam os limites definidos na legislação.

1. DESCRIÇÃO DA EMPRESA E DA CONDUÇÃO DOS ASSUNTOS RELACIONADOS À ÁREA DE MEIO AMBIENTE

A SAMA – Mineração de Amianto Ltda extrai a fibra da variedade crisotila na Mina de Cana Brava ao norte do Estado de Goiás na cidade de Minaçu, situada a 530 km de Goiânia.

A mina foi descoberta em 1962, mas a exploração começou somente 5 anos depois com uma produção de 4.000 ton./ano. Atualmente a produção é de 200.000 ton./ano com capacidade instalada de 240.000 ton./ano.

Ao redor da mina surgiu um pequeno vilarejo, que se transformou num polo econômico de extrema importância para o Estado. A Cidade de Minaçu emancipou-se em 1976 e possui hoje em torno de 35.000 habitantes.

A SAMA foi considerada em 1979, 1993 e 1995 “A MINA DO ANO” pela revista EXAME e conquistou o prêmio “SESI – QUALIDADE NO TRABALHO” em 1997 e 1998.

Em maio de 1996, a SAMA recebeu a certificação ISO 9002 de qualidade do processo e foi recertificada em 1999, sendo a primeira mina de amianto do mundo a receber essa certificação.

Com a implantação do Sistema de Gestão Ambiental, a SAMA foi novamente pioneira mundial ao receber a certificação pela ISO 14001, conferida pela DNV (Det Norske Veritas), da Holanda em dezembro de 1998.

Em 1999 conquistou o prêmio CNI de Ecologia na categoria Educação Ambiental, com o trabalho *Conscientização Ambiental*.

2. PLANEJAMENTO DE CONSTRUÇÃO DAS PILHAS DE BOTA-FORA

Os dois depósitos de bota-fora, um exclusivamente de estéril e o outro de estéril mais rejeito das usinas de beneficiamento, têm seu planejamento baseado em premissas que visam dar estabilidade a estes depósitos, das quais destacam-se:

- altura máxima dos taludes de 10 m, sendo que a inclinação dos taludes corresponde ao próprio ângulo de repouso do material (40° no caso do estéril e 35° no caso do rejeito);
- largura mínima de 6 m para as bermas;
- a inclinação de 1 % das bermas para interior do corpo com o objetivo de direcionar o escoamento das águas pluviais;
- construção de cascatas, outra forma de controle do fluxo de águas pluviais, nas faces dos taludes. As cascatas construídas em taludes depositados até 1996 são cascatas de alvenaria, as cascatas construídas em taludes formados após esta data são cascatas de estéril. O custo de construção destes dois tipos de cascatas são aproximadamente iguais, porém no caso das cascatas de estéril não há custos de manutenção após sua construção.

Na pilha de bota-fora onde são depositados estéril e rejeito o planejamento prevê que a deposição seja efetuada de forma controlada, delimitando previamente a região de avanço de cada um dos diferentes tipos de material, o que possibilita, em caso de um futuro aproveitamento de um dos materiais, que sua remoção seja facilitada, visto que não foram depositados aleatoriamente na pilha.

Outra premissa do plano de evolução destes depósitos é que os mesmos sejam construídos em forma de “cinturão”, isto é, são construídos inicialmente as faces externas dos depósitos, deixando para depositar no seu interior posteriormente.

Isto em determinados intervalos de tempo da construção destes depósitos provoca um aumento na distância de transporte de rejeito e estéril, porém evita o surgimento de poeira fugitiva oriunda destes depósitos, bem como, a implantação de uma cobertura vegetal nas faces dos taludes já em situação final de avanço. A Figura 1 ilustra o plano de deposição da pilha de bota-fora de estéril e rejeito.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

3. COBERTURA VEGETAL

Nas faces dos taludes onde não haverá mais deposição de estéril ou rejeito é iniciado o trabalho de implantação da cobertura vegetal.

A primeira fase deste trabalho é o lançamento de aproximadamente 0,60 m de espessura de “solo”, que na realidade é um substrato com mistura dos diversos horizontes do solo mais o regolito. O ideal seria lançar apenas o solo fértil, porém isto implicaria em retirar solo de áreas onde não há necessidade de sua remoção, isto é, de áreas onde não haverá avanço das cavas para retirada de minério. Então seriam impactadas áreas desnecessárias.

A segunda fase é a correção deste substrato com altas dosagens de gesso e corretivos que contenham potássio e fósforo, visto que este substrato, que é resultado do intemperismo do serpentinito, rocha hospedeira da mineralização, é rico em magnésio e deficiente em cálcio, potássio e fósforo, macronutrientes indispensáveis para o desenvolvimento de qualquer vegetação.

Após a correção do substrato são abertas covas distanciadas de 5 m em linhas eqüidistantes de 4 m. As covas possuem as seguintes dimensões: (40 x 40) cm com 60 cm de profundidade. Em seguida é feita a correção destas covas com composto orgânico (lodo da estação de tratamento de esgoto da própria SAMA) acrescido de matéria orgânica seca (proveniente de poda de gramas e árvores da vila residencial da SAMA), com gesso e adubo contendo potássio e fósforo. Concomitantemente no viveiro são formadas as mudas que serão plantadas nestas covas. As mudas são formadas a partir de sementes de espécies coletadas preferencialmente na região da mina.

Estas etapas descritas são realizadas no período de estiagem; com o início das chuvas é feito o transplante das mudas para as covas e em seguida é realizado o plantio direto de adubação verde, que consiste no plantio de um coquetel de sementes, com aproximadamente 200 kg de sementes por hectare, de gramíneas e leguminosas.

As fotos 1 e 3 ilustram as faces dos taludes após o lançamento do substrato e preparação das covas e as fotos 2 e 4 ilustram os respectivos taludes após o plantio das mudas e da adubação verde.

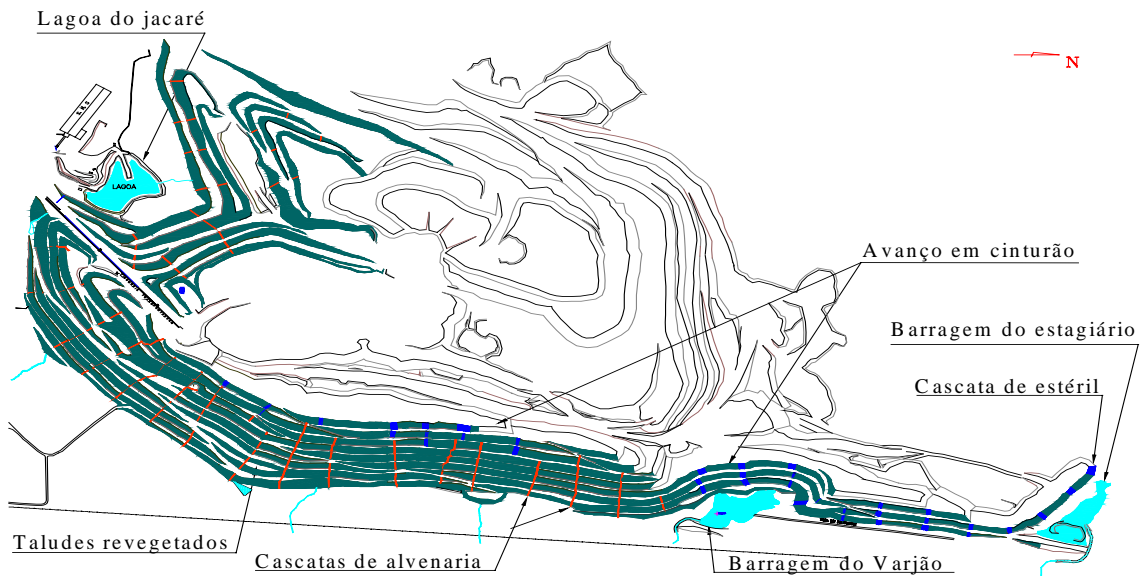


Figura 1 – Plano de construção da pilha de bota-fora de estéril e rejeito



Fotos 1 e 2 - Ilustrando (nos círculos) as covas preparadas e demarcadas, e o mesmo talude após o plantio.



Fotos 3 e 4 - Pilha de estéril antes e após os trabalhos de plantio de adubação verde e de mudas.



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE





Foto 5 - Área Industrial com a pilha de rejeito, ao fundo, já revegetada e a Serra de Cana Brava em segundo plano.

4. CONCLUSÕES

As melhorias são observadas visualmente com a redução do impacto visual causado pelas pilhas de estéril e rejeito desprovidas inicialmente de cobertura vegetal e que estão sendo gradativamente reduzidas com a implantação de uma cobertura vegetal nestas pilhas.

Conseqüentemente, há eliminação do risco de surgimento de poeira fugitiva proveniente destas pilhas. Reduz-se, também o risco de erosão das mesmas.

Busca-se ainda devolver as áreas impactadas pela atividade de mineração ao meio ambiente dentro de um equilíbrio natural, como ilustrado na foto 5, e em campo, com a presença de fauna típica da região, veados, tatus etc.

 <p>IBRACON</p>	<p>IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações</p> <p>São Paulo 5 e 6 de junho de 2001</p>	 <p>CT- 206 MEIO AMBIENTE</p>
--	---	---

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

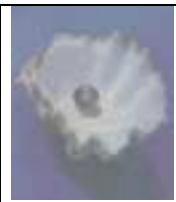
ALMEIDA, A. S.; FILHO, N. F.; BRAGA, T. O.; SILVA, W. S.; PAMPLONA, R. I.
(1992) Controle e Recuperação Ambiental na Mina de Cana Brava – Goiás.
São Paulo: IPT (Boletim 66 do IPT).



IBRACON

IV Seminário Desenvolvimento
Sustentável e a Reciclagem na
Construção Civil - Materiais Reciclados e
suas Aplicações

São Paulo 5 e 6 de junho de 2001



CT- 206
MEIO
AMBIENTE

**EXCELENTE DESEMPENHO COMPROVADO EM PAVIMENTOS
DE CONCRETO SIMPLES ELABORADOS COM PÓ DE PEDRA**

CUCHIERATO, GLÁUCIA ⁽¹⁾; SANT'AGOSTINO, LÍLIA M. ⁽²⁾

(1) Geóloga, Mestre em Recursos Minerais pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Rua do Lago, nº 562 - Cidade Universitária - São Paulo -SP. CEP: 05508-900. Email: glaucuchi@zipmail.com.br

(2) Professora Doutora do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Rua do Lago, nº 562 - Cidade Universitária - São Paulo -SP. CEP: 05508-900. Email: agostino@usp.br

Palavras-chave: pó de pedra, areia de brita, utilização de resíduos, pavimentos de concreto simples.

Resumo: Este trabalho pretende apresentar e discutir os resultados do desempenho do pó de pedra de algumas pedreiras da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) em substituição às areias naturais na elaboração de pavimentos de concreto simples. Para efeitos comparativos, realizou-se também uma simulação de areia de brita para a verificação dos melhores resultados. Dentre os ensaios de caracterização tecnológica realizados, foram feitas análises visual, granulométrica, química e mineralógica dos resíduos, bem como petrografia da rocha-fonte. A partir dos resultados, elaborou-se uma curva de Abrams, e com o estabelecimento da melhor relação água/cimento, foram feitos os demais traços, para verificar o desempenho dos materiais. Foram obtidos para todos os resíduos estudados resistências mecânicas iguais ou superiores às recomendadas pela ABCP para os pavimentos de concreto simples, além de menores consumos de cimento.

1. INTRODUÇÃO

O pó de pedra é gerado pelas pedreiras durante as etapas de britagem, e em alguns casos constitui-se um problema econômico e ambiental, quanto à sua estocagem e comercialização, sendo também considerado um resíduo (**Fotos 01 e 02**).



Fotos 01 e 02 - Pilhas de estoque de pó de pedra das Minerações estudadas

Dentre as possíveis aplicações deste material, com granulometria abaixo de 4,8 mm, destacamos os pavimentos de concreto, por este setor utilizar grande quantidade de agregados miúdos na elaboração de bases e sub-bases, na construção de grandes obras.

A utilização de resíduos em substituição às areias naturais pode reduzir custos na pavimentação das rodovias, além de torná-las ainda mais corretas ambientalmente. Pavimentos de concreto se inserem na básica da gestão ambiental em muitos países, uma vez que tem vida útil substancialmente maior com menor número de intervenções para reparos, sendo ainda considerada sua reciclabilidade em contraposição ao pavimento asfáltico, que apresenta menor durabilidade e elevado consumo de combustíveis fósseis (PITTA & MARCIANO JR. 1999).

Um outro estímulo ao aumento do emprego de pavimentos de concreto nos últimos anos foi a concessão da administração das rodovias estaduais, onde as concessionárias são obrigadas a gerar melhorias duradouras nos pavimentos a baixo custo inicial e final, com menores problemas de manutenção.

Nas pesquisas desenvolvidas, foram feitas substituições dos agregados miúdos por pó de pedra e areia de brita.

Ensaio de aplicação de resíduos foram feitos tomando como referência as dosagens de algumas das obras que estão sendo realizadas na RMSP, tais como duplicação das marginais da Rodovia Castello Branco e os projetos do Rodoanel. Com a comprovação da boa eficiência técnica e econômica dos resíduos, estes materiais poderão ser prontamente aplicados, abrindo uma nova perspectiva para o equacionamento da problemática do pó de pedra na RMSP.

2. PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES (CS)

O pavimento de concreto simples é uma estrutura sujeita a ações mecânicas e ambientais, onde são exigidas elevadas resistências à tração na flexão e à compressão simples, de modo a dar-lhe durabilidade (PITTA 1998). Requer um concreto duro, de consistência seca, mas com certa trabalhabilidade que permita um resultado homogêneo, denso e de grande impermeabilidade, além de apresentar baixa relação água/cimento; consumo mínimo unitário de cimento e limitação da dimensão máxima característica do agregado.

Os agregados miúdos geralmente utilizados em pavimentos de concreto são pedrisco e areia, em dosagens adequadas de forma a gerarem uma curva granulométrica contínua, com grãos de praticamente todos os tamanhos previstos na série normal de peneiras, que envolvam os agregados graúdos (Brita 1 e Brita 2) e preencham os seus vazios quando estiverem na condição de compactados.

A ABNT (NBR 7211) adota alguns limites para a distribuição granulométrica dos agregados miúdos em pavimentos de concreto simples, definindo quatro zonas, sendo que recomenda composições granulométricas entre as Zonas 2 (fina) e 3 (média), para casos em geral segundo a observação de resultados práticos, que, entretanto, não se aplicam a casos com falta ou carência de agregados miúdos, ou outros casos especiais (vide adiante - **Figura 1**). O uso da Zona 4 (grossa) no concreto de pavimentação é dependente de acompanhamento da porosidade com o emprego de incorporadores de ar como aditivos (PITTA 1998). As areias da Zona 1 são muito finas, exigindo maior consumo de água, e conseqüentemente de cimento, para uma mesma trabalhabilidade.

3. MATERIAIS ESTUDADOS

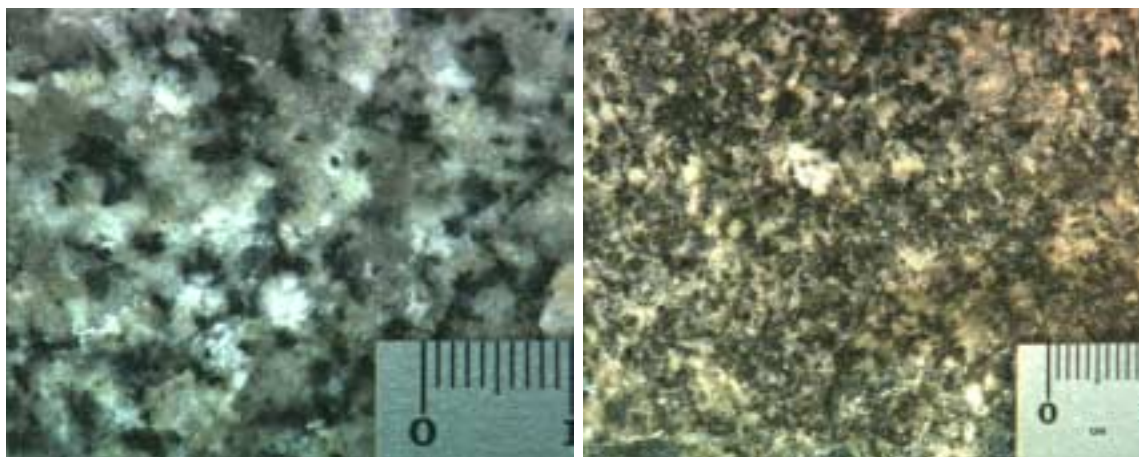
Os resíduos foram utilizados *in natura*, para habilitar os resultados a pronto uso. Os materiais ensaiados foram os pós de pedra (*dimensão inferior a 4,8 mm*) de quatro minerações de brita da RMSB, que operam com beneficiamento a seco. Para efeitos comparativos, foi feita a simulação de uma areia de brita (*dimensão inferior a 4,8 mm e superior a 0,074 mm*), obtida através da retirada dos pulverulentos por peneiramento em laboratório, para um dos casos selecionados, com o pó de pedra da mineração BR29.

Preliminarmente, foi realizado um estudo das rochas-fonte de brita, para verificar as relações entre a petrografia e a geração de resíduos (CUCHIERATO 2000). Verificou-se que as rochas de composição granítica exploradas na RMSB apresentam a tendência do aumento da quantidade de resíduos proporcionalmente à quantidade de minerais máficos (portadores de Fe e Mg) na rocha, a qual é mais acentuada quando a rocha-fonte tem textura porfiróide com matriz média a fina. As quatro minerações selecionadas para estudo de caso exemplificam esta tendência, conforme ilustrado na **Tabela 1**, que sumariza suas principais características.

Tabela 1 – Principais características das minerações selecionadas

Mineração	Município	Produção de Resíduos	Litologia da Rocha-Fonte	Textura	Índice de Máficos
BR12	São Paulo	10 %	Granito 3b	fanerítica média a fina	10
BR17	Barueri	18 %	Granito 3a	porfirítica com matriz fanerítica fina	25
BR29	Santa Isabel	20 %	Granodiorito	porfirítica com matriz fanerítica média - fina	25
BR31	Guarulhos	14 %	Granodiorito	fanerítica média	10

Estas observações indicam que os diversos minerais presentes nas rochas assumem comportamentos diferenciados durante a britagem, em consequência das variações de sua granulação original e resistência / dureza. A textura porfiróide se caracteriza por acentuada variação na dimensão dos grãos, com presença de minerais centimétricos imersos em uma massa de matriz de grãos milimétricos (**Fotos 03 e 04**). Neste tipo de textura, os minerais máficos se concentram nos intervalos granulométricos inferiores (-0,074 mm), associados à matriz fina da rocha e são menos resistentes ao processo de britagem, aspectos que fazem com que sejam liberados nas etapas iniciais deste processo.



Fotos 03 e 04 - Texturas presentes nas rochas-fontes de brita da RMSP
(BR12 - fanerítica média a fina / BR 17 porfiróide com matriz fina)

Os resíduos foram caracterizados tecnologicamente (CUCHIERATO *op.cit.*), com determinação das diferenças granulométricas, composição química e mineralógica, além de uma análise visual do pó de pedra (**Fotos 05 a 08**).



Foto 05 - Pó de Pedra (BR12)



Foto 06 - Pó de Pedra (BR17)



Foto 07 - Pó de Pedra (BR29)



Foto 08 - Pó de Pedra (BR31)

De um modo geral, os resíduos apresentam alta rugosidade das partículas e grande aderência das menores às maiores. O arredondamento é baixo, decorrente do processo mecânico de quebra das partículas durante a britagem e os fragmentos apresentam angulosidade. As formas predominantes são mais prismáticas a tabulares.

A realização de ensaios de aplicação permitiu verificar seu comportamento em comparação com os materiais convencionalmente empregados. Para o uso em pavimentos de concretos simples, observou-se que a composição química não é determinativa para o uso dos resíduos, a mineralogia é um parâmetro secundário e a composição granulométrica dos resíduos é o principal parâmetro a ser discutido.

Os resíduos estudados são de composição mineralógica quartzo-feldspática, com minerais máficos na forma de piroxênios, anfibólios e micas, como mostrado na **Tabela 2**.

Tabela 2 - Mineralogia dos resíduos estudados

MINERAÇÃO	MINERALOGIA
BR12	Quartzo, K Feldspato (Microclínio), Plagioclásio, Muscovita e Máficos (Biotita e Clorita)
BR17	Quartzo, K Feldspato (Microclínio), Plagioclásio e Máficos (Flogopita e Anfibólio)
BR29	Quartzo, K Feldspato (Microclínio e Ortoclásio) Plagioclásio, e Máficos (Piroxênio, Biotita, Crossita e Anfibólio)
BR31	Quartzo, K Feldspato (Microclínio), Plagioclásio, Muscovita e Máficos (Biotita e Flogopita)

As curvas granulométricas dos resíduos estudados (**Figura 1**) não satisfazem todos os intervalos dos limites estabelecidos pelas Zonas 3 e 4, sendo que compõem, em geral, uma curva contínua, distanciando dos limites nas porções mais grossas (+3,5 mm).

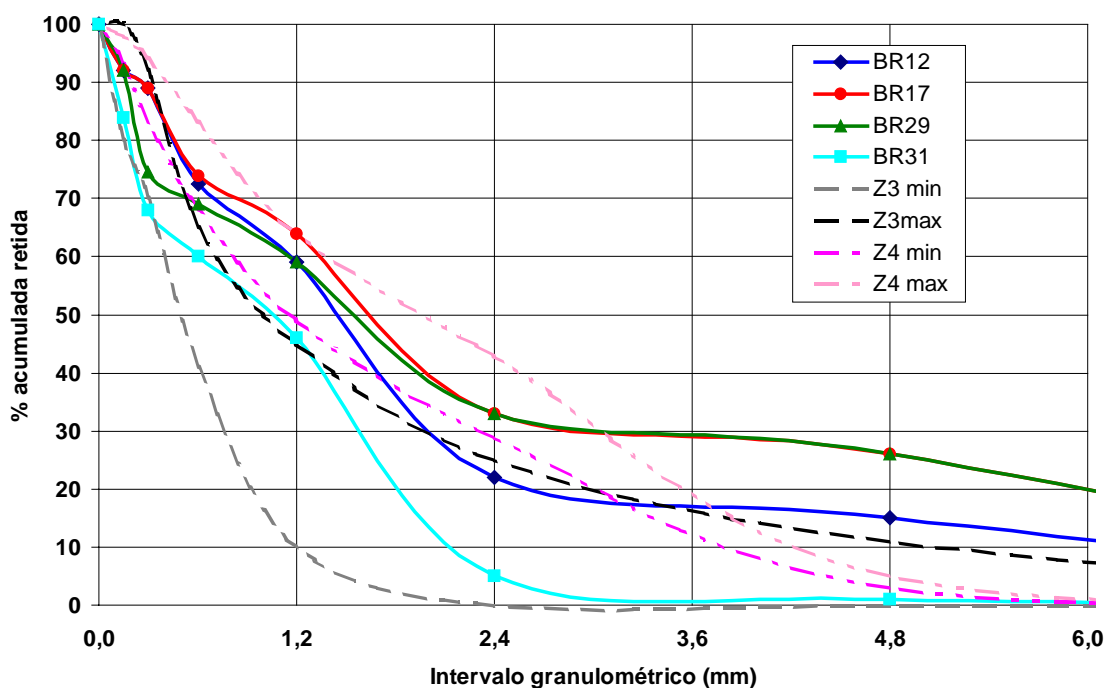


Figura 1 - Distribuição granulométrica dos resíduos e das Zonas 3 e 4 (ABNT)

4. ESPECIFICAÇÕES E ELABORAÇÃO DO PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLES

Para os ensaios de aplicação, o pavimento de concreto simples para uso como base de pavimento foi elaborado segundo padrões internacionais (HALLACK & SILVA 1998), em que deve ter resistência mecânica a tração na flexão medida aos 28 dias igual a 4,5 MPa e resistência mecânica à compressão simples em torno de 35 MPa. A elaboração dos corpos-de-prova e

o rompimento dos mesmos foi realizado na ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), segundo normas da ABNT.

O cimento utilizado em todos os ensaios foi o CP II E 40, com 0,2 % de resíduo na peneira 200 # (-0,074 mm), e resistências à compressão simples em 3, 7 e 28 dias respectivamente, 27,6, 34,8 e 45,9 MPa. O agregado graúdo escolhido foi a pedra 1, granítica, de forma cúbica.

Como metodologia de estudo, para um dos materiais estabeleceu-se a curva de Abrams e a partir dos resultados obtidos verificou-se a relação água / cimento mais adequada para o traço elaborado com os demais materiais. Para a curva de Abrams foram definidos os seguintes parâmetros:

- **Teor de argamassa:** admitido em 50 %, recomendado para o caso do uso de apenas um tamanho de agregado graúdo (pedra 1);
- **Umidade** (água em materiais secos: admitida entre 8 e 10 %, uma vez que o agregado miúdo é derivado de britagem de rocha e possui maior superfície específica;
- **Fator água/cimento:** foram escolhidos três pontos: 0,4, 0,5 e 0,6.

Tabela 3 – Dosagens do concreto simples (Curva de Abrams) - BR17

MATERIAL		TRAÇO		
Cimento (kg)		1	1	1
Agregado miúdo - Pó de Pedra (kg)		1,275	2,056	2,709
Agregado graúdo - Brita 1 (kg)		2,375	2,949	3,637
Relação água / cimento		0,4	0,5	0,6
Umidade (H% - % em peso)		8,6	8,3	8,1
Abatimento (mm)		15	20	25
Consumo de cimento (kg/m ³ concreto)		462	356	292
Massa específica concreto fresco (g/cm ³)		2,36	2,36	2,36
Resistência à compressão simples (MPa)	3 dias	41,5	26,4	18,3
	7 dias	42,3	35,4	27,5
	28 dias	50,3	44,2	36,0

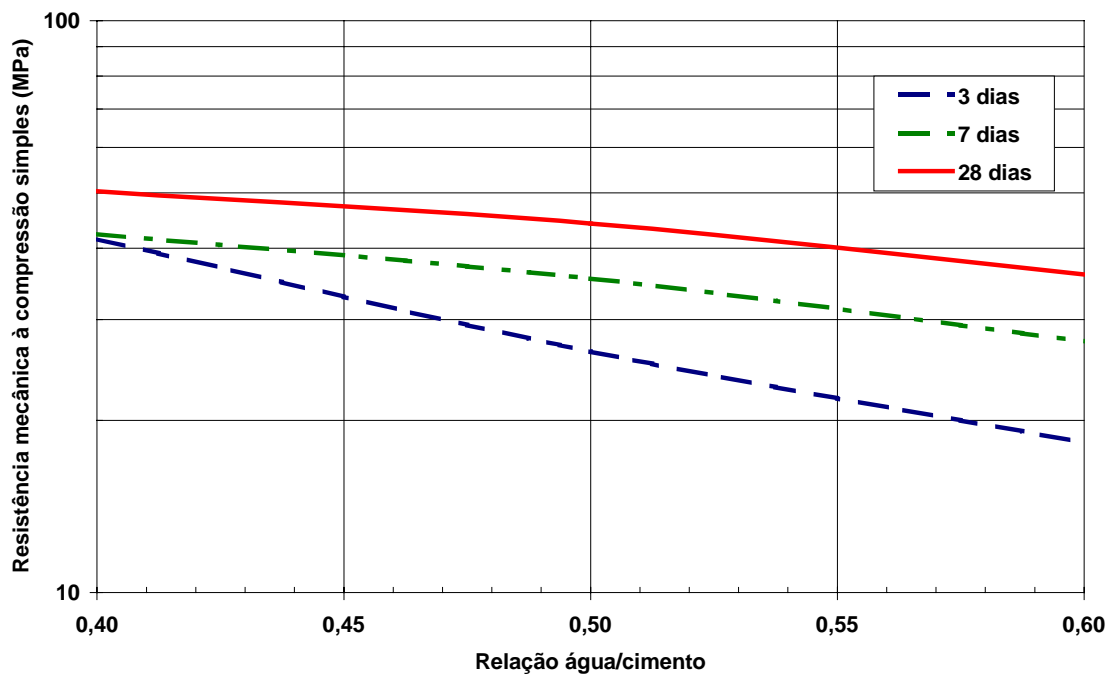


Figura 2 - Curva de Abrams, para três pontos água/cimento (BR17)

Com o estabelecimento da curva, encontrou-se o ponto ótimo da relação água/ cimento em 0,52 (resistência mecânica à compressão aproximadamente 35 MPa aos 7 dias). O ponto ótimo guiou as dosagens para os demais materiais (**Figura 3 / Tabela 4**). Dentre os materiais, foi inserido para estudo de caso um material com e sem a fração -0,074 mm, ou seja, pó de pedra (BR29 caso 1) e areia de brita (BR29 caso 2).

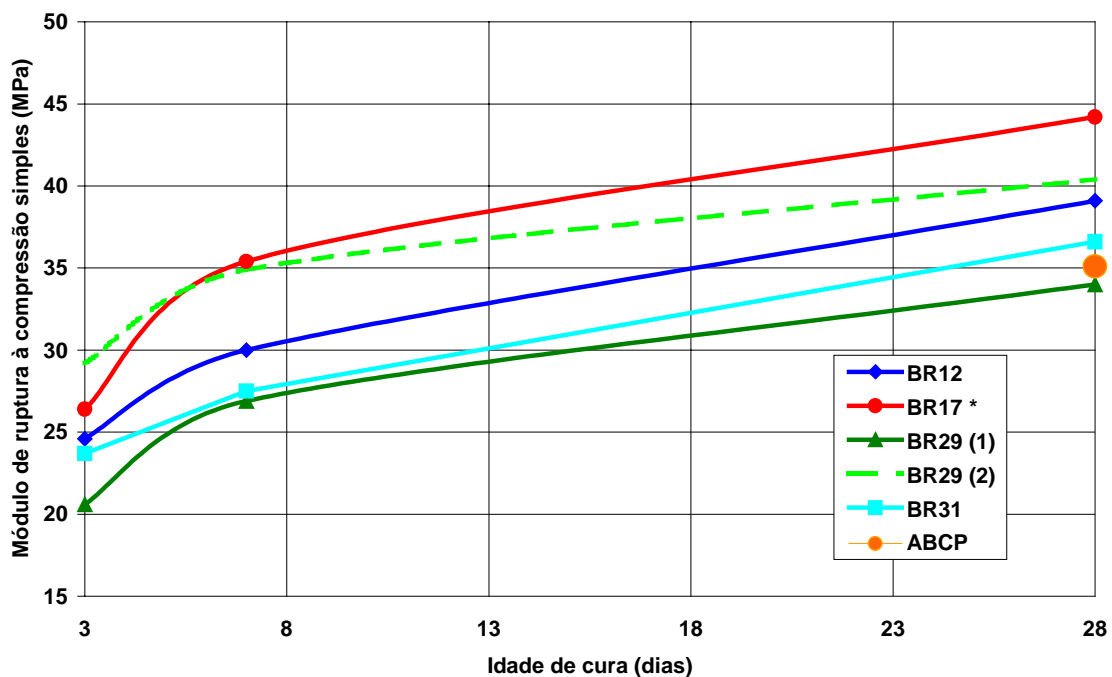


Figura 3 - Resistências à compressão dos traços elaborados

(* = relação água/cimento 0,5)

Tabela 4 – Dosagens do concreto simples (CS)

MATERIAL		TRAÇO				
		BR12	BR29 (1)	BR29 (2)	BR31	ABCP
Cimento (kg)		1	1	1	1	1
Agregado miúdo - Pó de Pedra (kg)		1,869	1,713	1,836	1,600	2,011
Porcentagem (em peso) da fração -0,074 mm		12	13	-	20	-
Agregado graúdo - Brita 1 (kg)		3,108	2,939	3,072	2,817	3,110
Relação água/cimento		0,52	0,52	0,52	0,52	0,60
Umidade (H% - % em peso)		8,7	9,2	8,8	9,6	9,8
Abatimento (mm)		30	50	35	35	13
Consumo de cimento (kg/m ³ concreto)		355	374	359	387	343
Massa específica concreto fresco (g/cm ³)		2,35	2,29	n.d.	2,33	-
Módulo de ruptura à tração na flexão (MPa) -14 dias		4,7	4,6	4,2	4,7	4,5 *
Resistência à compressão simples (MPa)	3 dias	24,6	20,6	29,2	23,7	-
	7 dias	30,0	26,9	34,9	27,5	-
	28 dias	39,1	34,0	40,4	36,6	35,1

n.d. = não determinada; * = rompimento em 28 dias

5. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que os traços que apresentaram melhor desempenho, relativo à resistência mecânica à compressão simples e à tração na flexão, foram aqueles feitos com os resíduos das minerações BR12 e BR17, inclusive apresentaram os mais baixos consumos de cimento, muito embora o traço BR17 tenha uma menor relação água/cimento (=0,50). O traço elaborado com o resíduo BR31 também resultou em um material de bom desempenho, apesar da presença de 20 % de pulverulentos (material com granulometria inferior a 0,074 mm), mas o consumo de cimento foi um pouco superior aos demais.

O pó de pedra da mineração BR29 (caso 1) não atingiu o valor para resistência à compressão simples em 28 dias como recomendado pela ABCP, porém o seu uso é viável em casos onde se necessita de resistência a curta idade de cura, uma vez que indicou bons valores aos 7 dias. O caso 2 da BR29, material que simula a areia de brita, apresentou resultados ainda melhores em 3 e 7 dias de idade, sugerindo que a retirada dos pulverulentos altera a qualidade do concreto, melhorando-o em resistência mecânica. O consumo de cimento também foi baixo (359 kg/m³ de concreto).

É expressiva a diferença entre as resistências mecânicas dos resíduos BR17 (resultado superior) e BR29 (resultado inferior), que apesar de apresentarem distribuição granulométrica do pó de pedra semelhante e mesmo tipo de rocha-fonte (granitos com textura porfirítica e matriz fanerítica média a fina e índice de máficos IM=25), têm significativas diferenças mineralógicas nos pós de pedra. Percebeu-se uma maior concentração de minerais máficos na BR29 em relação à BR17, além do que a primeira é constituída predominantemente de biotita, e a segunda de piroxênio, anfibólio e flogopita. A fragilidade da estrutura cristalina das micas gera pontos de fraqueza no concreto pela menor resistência destes minerais.

Em relação a quantidade de pulverulentos em concretos para pavimentação, observa-se que com a retirada dos finos, como no caso 2 da BR29 há um ganho em resistência. Porém, o caso da BR31, com 20 % de finos, também apresentou bom desempenho, o que indica que a quantidade de pulverulentos não inviabiliza o uso de um determinado material, desde que mantida constante.

Com estes ensaios de aplicação verificou-se que a utilização dos resíduos como agregado miúdo, além de perfeitamente viável, contribui com um ganho em resistência mecânica que varia de 4 a 25 %, e com diminuição significativa do consumo de cimento em relação aos concretos elaborados com areias naturais (380 a 400 kg/cm³ de concreto). Conclui-se que a aplicação dos resíduos de mineração de brita em concretos de pavimentação é bastante interessante do ponto de vista técnico-econômico

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

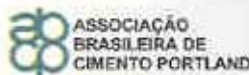
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987) *Agregados – determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, ABNT. 3p. (Método de Ensaio NBR 7211).
- CUCHIERATO, G (2000) *Caracterização tecnológica dos resíduos da mineração de agregados da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico*. São paulo, 201p. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.
- HALLACK, A.; SILVA, L.S. (1998) Estudo técnico e econômico de alternativas de pavimentação para rodovia de tráfego pesado. In: PÓS CONGRESSO PURDUE SOBRE PROJETO, AVALIAÇÃO, DESEMPENHO E REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE PAVIMENTOS DE CONCRETO, 1, São Paulo, 1998. São Paulo, ABCP. p. 65-82.
- PITTA, M.R.; MARCIANO Jr., E. (1999) Construção e reabilitação de pavimentos: concreto e meio ambiente .In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2., São Paulo, 1999. *Anais*. São Paulo, EPUSP. p. 68-83.
- PITTA, M.R. (1998a) *Construção de pavimentos de concretos simples*. 3.ed. São Paulo, ABCP. 88p.
- SBRIGHI NETO, C. (1984) Areia granítica pode substituir areia convencional na produção de concreto. IPT (Comunicação técnica n. 140). 3p.

“Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações” 05 e 06 de junho de 2001

ORGANIZAÇÃO E REALIZAÇÃO

IBRACON - Instituto Brasileiro do Concreto
Comitê Técnico - 206 Meio Ambiente

PATROCÍNIO



APOIO

EEM - Escola de Engenharia Mauá

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - CQMA

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - Digeo

PMI.USP - Escola Politécnica da USP - Deptº Engenharia de Minas

PCC.USP - Escola Politécnica da USP - Deptº Engenharia de
Construção Civil

SEPLAN - Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente da Prefeitura
Municipal de Vinhedo

UNESP - Universidade Estadual Paulista

UNITAU - Universidade de Taubaté