



III-287 - ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DE ARTEFATOS DE CIMENTOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL ORIUNDOS DE SÃO CARLOS /SP

Victor José dos Santos Baldan ⁽¹⁾

Tecnólogo da Construção Civil pelo Centro Superior de Educação Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas – CESET-UNICAMP.

Luisa Andréia Gachet - Barbosa ⁽²⁾

Professora Doutora do Centro Superior de Educação Tecnológica – CESET/UNICAMP.

Lubienska Cristina Lucas Jaquiê Ribeiro ⁽³⁾

Professora Doutora do Centro Superior de Educação Tecnológica – CESET/UNICAMP.

Ana Elisabeth Paganelli Guimaraes de Avila Jacintho ⁽⁴⁾

Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil - PUC-CAMPINAS.

Endereço⁽¹⁾: Rua Paschoal Marmo, 1888 – Jd. Nova Itália – Limeira – SP – CEP: 13484-411 - Brasil - Tel: (19) 2113 3399 - e-mail: victor.baldan@gmail.com

RESUMO

A Construção Sustentável está baseada na prevenção e redução dos resíduos de construção civil, pelo desenvolvimento de tecnologias limpas, no uso dos materiais reutilizáveis ou recicláveis e no uso destes resíduos como material secundário (material de base e sub-base indicado para a pavimentação) e na coleta. E, um mundo sustentável, é de interesse geral, de modo a garantir excelentes condições para o futuro da humanidade. O potencial do reaproveitamento e reciclagem de resíduos da construção é enorme. Em obras são gerados resíduos devido às perdas ou aos desperdícios do processo construtivo. Os objetivos deste artigo foram verificar e acompanhar todo o processo de produção dos artefatos reciclados de cimento, além de apresentar a caracterização dos materiais utilizados para a produção destes artefatos, comparando os agregados reciclados com os naturais, bem como o resultado do ensaio de resistência à compressão das peças produzidas com material reciclado pela Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil de São Carlos/SP. Foram realizadas visitas técnicas, entrevistas e coleta de material reciclado. A mão-de-obra utilizada para desenvolver todo o trabalho que vai desde a coleta dos resíduos de construção civil, até a produção dos blocos reciclados, é de presidiários da região de São Carlos. A produção destes materiais reciclados atende uma escala de demanda, suprimindo primeiramente a construção de habitações populares e posteriormente os órgãos públicos, tais como: fundações, escolas, igrejas, e outros afins. Além de promover vários benefícios ao meio ambiente, pode-se verificar que há também o trabalho de inclusão social.

PALAVRAS-CHAVE: Meio ambiente, Reciclagem de resíduos, Inclusão social.

INTRODUÇÃO

A sociedade está se tornando cada vez mais exigente em relação à questão ambiental. Os resíduos das atividades de construção civil e demolição (entulho) são apresentados como um dos principais problemas nas áreas urbanas, pois sua geração e descarte inadequados causam diversos impactos ambientais, sociais e econômicos. Como soluções para tais problemas, passam por desenvolvimento e implantação de tecnologias adequadas, buscando a redução, reciclagem e reutilização deste resíduo. (PINTO, 1998; ZORDAN, 1997).

Em países como Holanda, Alemanha, Dinamarca e Bélgica, as primeiras Usinas de reciclagem de resíduos de construção civil entraram em serviço há 20 anos. No Reino Unido, França e Espanha, a experiência completa uma década. Essas Usinas estão sempre concentradas em áreas urbanas, pois é onde ocorre a máxima produção de resíduos e também onde se apresenta a maior e mais constante demanda de materiais. (CARNEIRO, 2000)

Experiências recentes, realizadas no Brasil, demonstram que a instalação das Usinas de RCC, gera excelentes resultados no tratamento destes resíduos, que vai desde sua deposição, captação até o destino final, que consiste na maioria das vezes, em parcerias realizadas com “caçambeiros” (donos das empresas de caçambas, que recolhem o entulho na obra e levam até essas Usinas), ou até mesmo através do “ecopontos”, onde a



população pode depositar seu entulho e a Prefeitura ou outro órgão local responsabiliza-se a transportar esse material até as Usinas. (BALDAN, 2009)

O presente trabalho contém resultados de ensaios de peças fabricadas a partir dos materiais reciclados pela Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e pela Fábrica de Artefatos Reciclados de Cimento, instalados na cidade de São Carlos, e comparados com os resultados obtidos através do ensaio das peças produzidas com os materiais convencionais, usualmente encontrados no mercado.

Para melhor entendimento da importância deste trabalho é preciso que se conscientize de que a reciclagem de resíduos de construção civil (RCC) é uma oportunidade de transformar uma fonte de despesa numa fonte de faturamento, pelo menos, da redução de despesas de deposição, além do que a reciclagem é a redução significativa do volume de extração de matérias-primas, o que preserva recursos naturais limitados.

O procedimento adotado para o desenvolvimento desta pesquisa, iniciou-se com intensa revisão bibliográfica, seguidas de visitas aos órgãos da Prefeitura, à Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil, bem como à Fábrica de Artefatos Reciclados de Cimento da cidade de São Carlos/SP, com o objetivo de levantar informações sobre os aspectos relacionados aos resíduos da construção civil da cidade, entre eles os locais apropriados no município para disposição do entulho e destino final.

Foram aplicados questionários devidamente elaborados, com base em informações relevantes obtidas na revisão bibliográfica e levantamento dos pontos fortes e fracos dos processos já existentes.

Além disso, foram realizadas entrevistas técnicas com responsáveis pela Usina de RCC e pela Fábrica de Artefatos, bem como visitas à órgãos da Prefeitura Municipal de São Carlos e à PROHAB. Com tudo isso, pode-se observar e descrever as etapas de funcionamento da Usina e da Fábrica, bem como, acompanhar a chegada dos resíduos de construção na Usina, os procedimentos de separação dos materiais, o transporte da Usina para a Fábrica, os procedimentos de fabricação dos principais artefatos reciclados de cimento e o processo de cura das peças.

No Laboratório de Materiais do CESET/UNICAMP, foram realizados ensaios com as peças de concreto fabricadas a partir do material reciclado, e comparados com os resultados obtidos através do ensaio das peças produzidas com os materiais convencionais, usualmente encontrados no mercado. Realizaram-se também ensaios de caracterização dos materiais utilizados na produção das peças. Dentre esses ensaios devem ser destacados: granulometria; determinação de material pulverulento; massa específica; massa unitária; absorção; inchamento e finura.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio e a participação da Prefeitura Municipal de São Carlos, através de sua empresa mista, a Pró-Habituação São Carlos - PROHAB.

USINA DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL E A FÁBRICA DE ARTEFATOS RECICLADOS DE CIMENTO DE SÃO CARLOS/SP

O potencial do reaproveitamento e reciclagem de resíduos da construção é enorme. Com este foco, a implantação da Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e da Fábrica de Artefatos Reciclados de Cimentos, a Prefeitura Municipal de São Carlos, através de sua empresa mista, **PROHAB**, representa um marco no desenvolvimento sustentável da região, e é ponto de partida para a transformação do resíduo gerado em obras de construção civil por meio da reciclagem em matéria prima para novas obras.

A Usina opera em um terreno alugado pela Prefeitura, que fica no bairro Chácara das Flores, distante 10 quilômetros do centro da cidade. Neste mesmo terreno, encontram-se anexos, três barracões, de aproximadamente 10 mil m² cada um, onde a Fábrica de Artefatos Reciclados de Cimento desenvolve suas atividades.

Usina de Reciclagem de Resíduos de Construção Civil

Os resíduos chegam à Usina de Reciclagem de Resíduos de São Carlos, por meio de uma parceria com empresas coletoras desses resíduos na cidade, instituindo assim, o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil e o Sistema para a Gestão destes Resíduos (Lei nº13. 867/06) (PROHAB, 2008). Vários caminhões de empresas coletoras dos resíduos chegam diariamente à Usina, sempre com caçambas lotadas de restos de concreto, telhas, tijolos, blocos advindos de demolições, reformas, etc.



A Usina recicla:

- Fragmentos de alvenaria de componentes cerâmicos;
- Fragmentos de alvenaria de blocos de concreto;
- Fragmentos de concreto, armado ou não, sem formas;
- Fragmentos de lajes e de pisos;
- Argamassas de cal, de cimento ou mistas, de assentamento ou revestimento;
- Componentes de concreto ou cerâmico: blocos, tijolos, telhas, tubos, briquetes, lajotas para laje, etc.;
- Fragmentos de pedra britada e de areia naturais, sem presença significativa de terra ou outros materiais proibidos (classificação Classe A - CONAMA n.º. 307).

Esse material é depositado no pátio da Usina, e logo após isto, é feito um processo de análise e separação, onde há distinção de material misturado com ferragens e/ou apenas material formado por concreto, tijolos, blocos.

Na máquina composta pelo sistema triturador + britador, o material depositado passa pelos processos de britagem e trituração. Após estes processos, o material sofre uma nova separação, de acordo com sua granulometria. Os resíduos mais finos são separados dos mais grossos. Esse material mais fino, geralmente é utilizado para preenchimento de valas, nas operações de “tapa buracos”, pavimentação e na confecção dos artefatos de cimento. Já os mais grossos, geralmente a areia e o pedrisco, são encaminhados para a peneira vibratória, resultando em materiais como pedra 1 e areia média, que podem ser utilizados na pavimentação. Assim, os materiais estão preparados para serem encaminhados para a Fábrica de Artefatos, para a confecção de peças ou para finalidade de drenagem ou pavimentação.

Etapas de operação da Fábrica de Artefatos Recicladados de Cimento

A Fábrica de Artefatos Recicladados de Cimento por sua vez, recebe o material reciclado da Usina de RCC, que logo é separado e disposto em montes. Assim, esse material é pesado e encaminhado para a máquina de fabricação de artefatos de cimento, também conhecida vibro-prensa-hidráulica, que por sua vez, é formada pelo conjunto betoneira-esteira-vibrador-prensa.

Após a mistura de 70% de material não-reciclado + 30% de material reciclado + aditivos, dentro da vibro-prensa-hidráulica, a argamassa está pronta para ser levada às suas respectivas formas de blocos, bloquetes, canaletas, meio blocos, etc.

Depois de colocada na forma, a argamassa passa pela cura durante 3 dias, e já no sétimo dia, o material está pronto para utilização.

A Tabela 01 mostra o traço utilizado na confecção dos blocos produzidos com material reciclado.

Tabela 1 - Traço utilizado para a confecção dos blocos

Cimento (kg)	Areia reciclada (kg)	Areia média (kg)	Pedrisco (kg)	Água (L)
20	60	100	100	3,5

FONTE: PROHAB, 2008

Com este traço, são produzidos em média, cerca de 50 blocos.

Os materiais produzidos pela Fábrica de Artefatos são destinados principalmente para construções de habitações populares, obras estas, supervisionadas pela PROHAB.

Mão-de-obra utilizada nas etapas de reciclagem dos resíduos de construção civil e na fabricação dos artefatos reciclados de cimento

A mão-de-obra operante na divisão industrial é composta por cerca de 14 reeducandos da penitenciária “Dr. Antonio de Queiroz Filho”, da cidade de Itirapina, distante aproximadamente 20 quilômetros de São Carlos. Esses reeducandos são presidiários que estão em regime semi-aberto. Eles prestam serviços à Usina e à Fábrica durante o dia, no turno das 07h30min às 16h30min, de segunda a sexta, e logo após, retornam para a Penitenciária. Esta iniciativa é muito importante para a ressocialização destas pessoas, lembrando que, além



do salário mínimo recebido mensalmente, pago pela PROHAB, para cada 3 dias de trabalho, 1 dia é descontado da pena total. Muitos desses trabalhadores da Usina e da Fábrica de Artefatos afirmam ter a intenção de trabalhar com a reciclagem de resíduos de construção civil, assim que estiverem em liberdade total.

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Ensaio de caracterização nos Materiais Utilizados

Nos resíduos e nos agregados naturais foram realizados ensaios de composição granulométrica – NBR NM 248; massa unitária – NBR 7251; absorção e massa específica - NBR 9937. Os resultados dos ensaios de caracterização das amostras de resíduos utilizadas neste trabalho podem ser observados nas Tabelas de 2 a 4.

Areia reciclada e natural

Os resultados dos ensaios de caracterização da areia reciclada e natural são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaio de caracterização da areia reciclada e da areia natural

Ensaio	Valor (Areia Rec.)	Valor (Areia Nat.)
Dimensão máxima característica (mm)	2,4	2,4
Módulo de Finura	2,5	2,16
Massa Específica g/cm ³	2,51	2,61

Pedrisco

A Tabela 3 apresenta os resultados de ensaios de caracterização do pedrisco.

Tabela 3 - Ensaio de caracterização do Pedrisco

Ensaio	Valor
Dimensão máxima característica (mm)	6,3
Módulo de Finura	5,18
Massa Específica g/cm ³	2,87
Massa Unitária g/cm ³	1,28

Agregado graúdo

Tabela 4 - Determinação da absorção do agregado graúdo (NBR 9937)

Det.	Frações	Massa da Amostra (g)					Absorção (%)
		Massa Específica (g/cm ³)		Imerso em Água	Condição Seca	Condição Saturada Superfície Seca	
		Seca	Saturada Superfície Seca				
A	B	C	□ _s	□ _{sss}	a		
1ª	Total	3916,5	3992	2582,5	2,78	2,83	1,93
2ª	Total	3949,6	4016,5	2603	2,79	2,84	1,69

Cimento

O valor da massa específica determinado para o cimento foi de 3,06 g/cm³.

Moldagem dos blocos

Para a moldagem dos blocos, foi utilizado o traço apresentado na Tabela 01. Após a moldagem dos blocos na Fábrica, os mesmos permaneceram em processo de cura por 28 dias. Após esse período foram medidos e capeados antes da realização dos ensaios de resistência à compressão, conforme ilustram as Figuras 1 e 2.



Figura 01. Blocos sendo preparados para ensaio



Figura 02. Ensaio de resistência à compressão simples

Tabela 5: Resultados das resistências dos blocos (14X19X29 cm), conforme NBR 6136/06

CP Nº	ESPESS. DAS PAREDES (mm)		DIMENSÃO DOS BLOCOS (mm)			ÁREA (mm ²)	CARGA (KGF)	CARGA (N)	TENSÃO (MPa)	
	Long.	Transv.	Compr.	Largura	Altura				Ind.	Média
1	27,9	27,4	390	115	196	44850	22.140	217126,9	4,8	4,4
2	27,4	26,3	389,7	114,7	196,7	44698,59	19.870	194865,1	4,4	
3	27,3	26,6	390	117	164,7	45630	17.410	170739,9	3,7	
4	28,1	27,6	388,7	114,7	189	44583,89	19.900	195159,3	4,4	
5	26,6	27,2	390	115	195,7	44850	23.880	234191,2	5,2	
6	27,2	26,1	389	114,7	191,7	44618,3	18.710	183488,9	4,1	
Média	27,4	26,9	389,6	115,2	188,9	44864				

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Por meio dos ensaios de caracterização e de resistência à compressão dos blocos produzidos através dos agregados reciclados, pode-se observar que estes podem ser utilizados para produção de blocos, pois, neste caso os valores atingidos estão além dos valores mínimos estipulados pela norma.



CONCLUSÕES

Os resíduos de construção civil reciclados apresentam diferentes aplicações, desde a produção de artefatos de concreto, produção de argamassas e concretos não estruturais, pavimentação e recuperação de estradas rurais, controle de erosão e enchimento de fundações de construção e aterro de vias de acesso. Como o exemplo apresentado pela PROHAB, na cidade de São Carlos, o emprego do material reciclado em programas de habitações populares proporciona bons resultados, devido a esses materiais apresentarem grande potencial de oferta, os custos de produção de infra-estrutura podem ser reduzidos, tornando-se acessíveis às comunidades mais carentes, além de ter sua utilização na pavimentação de estradas rurais e também nas operações de “tapaburacos”.

Do ponto de vista da administração pública, a implantação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil envolve alguns aspectos, tais como: substituição, em grande parte, dos agregados naturais empregados na produção de alguns materiais de construção; redução dos custos de aquisição de matéria-prima e preservação das reservas naturais, devido à substituição de materiais convencionais – areia e rocha britada; geração de emprego e renda; ações de educação ambiental e processos participativos.

Além da economia de matéria-prima e energia na produção de novos agregados, o uso e a reciclagem de resíduos da construção e demolição proporcionam novas oportunidades de emprego para uma parcela da população que freqüentemente é excluída, que passa a se organizar em grupos e efetivamente a gerar renda, tanto na coleta (catadores) quanto em cooperativas de reciclagem (na produção de novos materiais e componentes).

Em uma realidade regional, a cidade de São Carlos surge como um referencial neste seguimento, visto que foi estabelecido um plano de gerenciamento de resíduos de construção, inclusive já com a operação da Usina de Reciclagem – PROHAB. As ações envolvidas neste processo determinam um desenvolvimento institucional de todas as instâncias da administração pública.

A reciclagem e o reaproveitamento do resíduo são, portanto, de fundamental importância para o controle e minimização dos problemas ambientais causados pela geração de resíduos, e para seu reaproveitamento na criação de diversos produtos com valor agregado.

Por fim, vale ressaltar que a implantação de uma gestão pública de RCC beneficia a sociedade como um todo, configurando ações de conscientização e de cidadania.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.
2. **NBR 15113 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.
3. _____. **NBR 15114 – Resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro, 2004.
4. _____. **NBR 15115 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas de pavimentação – procedimentos.** Rio de Janeiro, 2004.
5. _____. **NBR 15116 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e concretos sem função estrutural – requisitos.** Rio de Janeiro, 2004.
6. BALDAN, V. J. S. **Análises comparativas entre os produtos convencionais de concreto e os produzidos com os agregados da usina de reciclagem de resíduos de construção civil.** Iniciação Científica. PIBIQ/CNPq-PRP - CESET-UNICAMP. Em andamento.
7. CARNEIRO, A.P.; BRUM, I.A.S.; CASSA, J.C.S. **Reciclagem de resíduos para a produção de materiais de construção.** EDUFBA; Caixa Econômica Federal, Salvador, 2001.
8. PINTO, T.P. **Manual de uso dos resíduos de construção reciclados.** São Paulo. I&T, 1998.
9. PROHAB – Pró Habitação de São Carlos – Material de Divulgação. São Carlos, 2008.
10. ZORDAN, S.E. **A utilização do RCC como agregado, na confecção do concreto.** Campinas, 1997. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil – FEC, Universidade Estadual de Campinas, 1997.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET/UNICAMP) pelo apoio e aos funcionários da PROHAB, da Usina de Reciclagem de Resíduos e da Fábrica de Artefatos de Cimento da cidade de São Carlos/SP, pelas importantes colaborações com este, além dos Srs. João Batista Müller (Presidente da PROHAB), Valter Secco (Diretor de Projetos da PROHAB), José Enrique Vendrasco (Chefe da Divisão Industrial da PROHAB), Samir Fagury (Chefe da Divisão de Obras da PROHAB) e Dirceu Ferreira da Silva (Encarregado de Serviços da Usina de Reciclagem e da Fábrica de Artefatos de Cimento) pela calorosa recepção e valiosas contribuições.