

III-490 - GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO PARQUE OLÍMPICO DO RIO DE JANEIRO

Marcos Vinicius Assis de Almeida ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/ RJ)

Rafael Felipe Teixeira Rodrigues ⁽²⁾

Engenheiro Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/ RJ)

Aline Guimarães Monteiro Trigo ⁽³⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Doutora em Planejamento Ambiental pelo Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ. Professora Associada do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/ RJ).

Endereço ⁽¹⁾: Rua Artur Rios, 529 – Senador Vasconcelos – Rio de Janeiro – RJ – CEP 23013-470 – Brasil – Tel: (21) 2415-1641 – email: mark.assis@hotmail.com

RESUMO

A sociedade vem sofrendo há muito tempo, com os problemas e transtornos gerados pela construção civil de uma maneira geral, tanto em obras de infraestrutura quanto em obras de edificações. Pior que a atividade propriamente dita deste segmento econômico, é a grande geração de resíduos. Por isso, a preocupação com o tratamento e a posterior disposição final do resíduo advindo de obras de médio e grande porte, bem como de reformas e pequenas obras informais. Uma das estratégias sustentáveis que colaboram para minimização dessa preocupação é abordada pelo objetivo desse trabalho, que visa analisar a importância do reaproveitamento de materiais rejeitados, conhecidos como resíduos sólidos da construção civil (RCC). Esse resíduo é tratado e posteriormente, reutilizado na forma de agregado graúdo para concreto não estrutural e na constituição das camadas de base e sub-base de pavimentação. Esta tecnologia foi utilizada na obra estudada que é o Parque Olímpico do Rio de Janeiro. O resultado do uso desse agregado reciclado já logrou êxito, sendo utilizado no atual canteiro de obras, com previsão ainda de emprego em outros locais do mesmo empreendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos da Construção Civil, Reutilização, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Há algumas décadas, o setor da construção civil vem liderando o ranking de geradores de resíduos, devido, em grande parte, à cultura do desperdício e à falta de conhecimento, por parte dos construtores, sobre a gestão integrada dos resíduos da construção civil. Por isso, a preocupação com o tratamento e a posterior disposição final do resíduo advindo de obras de médio e grande porte, bem como de reformas e pequenas obras informais.

Ainda, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2013), como se não bastassem as alternativas desenvolvidas pela indústria ao longo do tempo, o concreto, por si só, já consome muito menos energia para ser produzido do que outros materiais de construção, como o alumínio e o aço, e emite proporcionalmente menos gases e partículas poluentes.

O presente artigo pretende demonstrar que o concreto gerado como subproduto do reaproveitamento deste mesmo material, outrora demolido no próprio local, ou oriundo de outra obra ou empreendimento, pode vir a gerar uma série de benefícios tanto para o empresário construtor, quanto para a sociedade em seu entorno. Ou seja, mesmo sendo apenas parte de uma grande quantidade de materiais envolvidos em uma construção, é possível obter resultados positivos que englobam os mais variados aspectos do conceito de sustentabilidade, dentre eles a redução na quantidade de resíduos que são descartados sem uma correta destinação, a mitigação dos impactos ambientais da atividade extratora da matéria prima originalmente utilizada na produção do concreto, etc.

Além de todas as vantagens atreladas a essa prática, outras soluções acabam sendo descobertas no sentido de melhorar a eficiência do gerenciamento de resíduos sólidos, principalmente durante a construção e demolição, no Brasil. Portanto, uma das estratégias sustentáveis que colaboram para minimização dessa preocupação é abordada pelo objetivo desse artigo, que visa analisar a importância do reaproveitamento de materiais

rejeitados, conhecidos como resíduos sólidos da construção civil (RCC). Esse resíduo é tratado e posteriormente, reutilizado na forma de agregado graúdo para concreto não estrutural, especialmente, na constituição da pavimentação da obra estudada que é o Parque Olímpico do Rio de Janeiro.

Metodologicamente, o trabalho é classificado como uma pesquisa básica, segundo a natureza e quanto aos objetivos, enquadra-se como uma pesquisa exploratória, pois tem o “objetivo de proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito”. (DIEHL; TATIM, 2004) Quanto aos procedimentos, é um estudo de caso relacionado ao reaproveitamento de resíduos no Parque Olímpico do Rio de Janeiro.

A IMPORTÂNCIA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: COMPOSIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

Tudo que, hoje, se faz presente na forma de materiais e produtos de todos os gêneros, sejam eles bens de consumo duráveis ou não duráveis, no futuro, será resíduo. Some-se a isso, todo o montante de resíduo gerado ainda no processo de extração de matéria-prima, bem como em todo o processo industrial necessário para manufatura destes bens. Por razões óbvias, a quantidade de resíduos gerados supera, e muito, a quantidade de bens consumidos.

As características dos resíduos sólidos da construção civil (RCC) dependem basicamente do processo construtivo que deu origem a eles e o material de que são constituídos. (NAGALLI, 2014) A tabela 1 caracteriza a composição dos resíduos no país. (PINTO, 1987; ZORDAN e PAULON, 1997 e MACEDO et al., 2009; citados por NAGALLI, 2014, p. 65)

Observa-se que grande parte do resíduo é do tipo concreto e argamassa. Inclui-se a porção de solo que é relativa aos serviços de terraplenagem. Segundo Nagalli (2014), o sistema construtivo brasileiro adota estruturas em concreto e revestimentos assentados sobre argamassas de cimento.

Tabela 1: Composição dos resíduos de construção (NAGALLI, 2014)

Composição da fração mineral			
Material	Pinto (1987) (1)	Zordan e Paulon (1997) (2)	Macedo et al. (2009) (3)
Argamassa	64,4%	37,6%	26,5%
Concreto	4,8%	21,2%	42,9%
Material cerâmico	29,4%	23,4%	8,2%
Rochas/ outros	1,4%	17,8%	22,4%

Notas: 1 – Local: São Carlos (SP); 2- Ribeirão Preto (SP); 3- Recife (PE)

Verifica-se que a composição é bem diversificada, o que se justifica pelo local de geração desse resíduo, em razão da oferta de materiais de construção, como também à associação a diferentes processos construtivos, treinamento das equipes executoras, forma de agregação prévia dos RCC, cronograma de obra, entre outros. (NAGALLI, 2014)

No âmbito da construção civil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) propôs um novo sistema de classificação dos RCC. Contudo, antes é necessário conhecer o conceito de agregado aplicado à construção civil. Segundo Nagalli (2014, p.113), “os agregados são materiais minerais, granulares e inertes utilizados principalmente em obras de infraestrutura e edificações. Os agregados mais comuns são pedra brita, areia e cascalho, e são substâncias minerais mais utilizadas no Brasil e no mundo”.

A classificação dos resíduos sólidos gerados na indústria da construção civil tem fundamental importância quando se tem por objetivo elaborar, de maneira eficiente, um plano de gestão de resíduos da construção civil. Isso se deve ao fato de que, feita a classificação, poderão ser definidas as etapas seguintes do processo de gerenciamento de resíduos de construção civil: coleta, acondicionamento, armazenagem, transporte (interno e externo), tratamento e destinação (disposição) final, de acordo com cada tipo de resíduo gerado.

Considerando o conceito dado pela Resolução CONAMA nº 307/ 2002, os resíduos sólidos da construção civil são gerados também nas reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes

da preparação e escavação de terrenos para obras civis, os quais são de responsabilidade do gerador dos mesmos. Eles podem ser classificados em quatro classes:

Classe A - são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;

Classe B - são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; (redação dada pela Resolução CONAMA n° 431/11).

Classe C - são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (redação dada pela Resolução CONAMA n° 431/11)

Classe D - são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. (Redação dada pela Resolução CONAMA n° 348/04)

Nagalli (2014) afirma que, a classificação poderá simplificar a aplicação do construtor, na medida em que sugere, diretamente, alternativas de destinação; contudo, as limita e deixa de pontuar a importância da avaliação individualizada de cada resíduo, já que um material teoricamente reciclável pode deixar de sê-lo por ter entrado em contato com outro, não necessariamente perigoso. Isso significa que os resíduos, independentemente de sua constituição, podem transitar entre as diversas categorias de classificação, devido às circunstâncias locais.

Cabe ressaltar que no presente trabalho, iremos focar o estudo dos resíduos sólidos de Classe A, mais precisamente o concreto armado, que terá os materiais de sua composição devidamente segregados para que se dê início a todo o processo de reaproveitamento do material em questão.

OS IMPACTOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Resolução CONAMA n° 001/1986 define o impacto ambiental como:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

Assim, os RCC seriam potenciais agentes de degradação da qualidade ambiental na medida em que interagem com diversos aspectos ambientais, como o meio físico (ar, água, ar), o meio antrópico (sociedade, economia, cultura etc.) e a biota (fauna e flora).

O uso e a disposição inadequada dos RCC, segundo Cabral (2011), compromete a paisagem do local; o tráfego de pedestres e de veículos; provoca o assoreamento de rios, córregos e lagos; o entupimento da drenagem urbana, acarretando em enchentes; além de servirem de pretexto para o depósito irregular de outros resíduos não-inertes, propiciando o aparecimento e a multiplicação de vetores de doenças, arriscando a saúde da população vizinha.

Nagalli (2014) cita outros impactos aos agentes envolvidos diretamente na execução da obra, como:

- O aumento dos riscos de acidentes de trabalho, por conta da desorganização do canteiro e do não uso de equipamentos de proteção apropriados; e
- O mau aproveitamento do espaço do canteiro - quer pela ausência de planejamento da ocupação ou dimensionamento de estoques de materiais e resíduos, pode inviabilizar ou dificultar a execução da obra.

Elevados custos são despendidos para a realização da disposição de resíduos, principalmente em virtude dos equipamentos utilizados no recolhimento dos mesmos serem totalmente inadequados (equipamentos pesados, caminhões basculantes, pás carregadeiras, entre outros) a esse tipo de serviço. (PINTO, 2001) Ainda de acordo com Cabral (2011), essa prática não promove a sustentabilidade, uma vez que não incentiva a redução, reutilização ou reciclagem desses resíduos. Infelizmente, um grande número de cidades brasileiras se encontra nesta situação de promoção da gestão dos resíduos de maneira emergencial.

Os resíduos sólidos da construção civil são parte integrante dos resíduos sólidos urbanos, e sua geração contínua e crescente está ligada ao elevado desperdício de materiais na construção de pequeno ou grande porte. Ainda segundo Neto (2005), estima-se que para cada tonelada de lixo urbano recolhida, outras duas de entulho geradas pela construção civil também são coletados.

Para se ter uma ideia da gravidade do problema, são apresentados dados dos resíduos de construção e demolição coletados no Brasil (Tabela 2), retirado do último boletim anual divulgado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Em geral, a responsabilidade da coleta e destino final dos resíduos de construção e demolição é de seu gerador. No entanto, os números da Tabela 2 referem-se aos resíduos sólidos da construção civil coletados pelo poder público municipal e excluem aqueles resíduos sob a responsabilidade dos geradores.

Tabela 2: Comparativo da quantidade total de RCC coletado no Brasil em 2011 e 2012 (Adaptado de ABRELPE, 2012)

REGIÃO	2011		2012		População
	RCC coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)	RCC coletado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)	
NORTE	3.903	0,330	4.095	0,341	12.010.233
NORDESTE	19.643	0,502	20.932	0,530	39.477.754
CENTRO-OESTE	12.231	0,966	12.829	1,000	12.829.644
SUDESTE	55.817	0,742	59.100	0,780	75.812.738
SUL	14.955	0,638	15.292	0,648	23.583.048
BRASIL	106.549	0,656	112.248	0,686	163.713.417

A comparação entre os dados de RCC em 2012 e 2011 resulta na constatação de um aumento de pouco mais de 5% na coleta dos mesmos. O índice coleta per capita (kg/ habitante/dia) mostra a relação dos resíduos coletados diariamente com a população urbana dos municípios. Considerando que a quantidade de resíduos coletados aumenta tanto quanto a população urbana das regiões geográficas brasileiras, observa-se uma tendência de crescimento desse índice.

Percebe-se uma grande quantidade de resíduos coletados, principalmente na Região Sudeste, sendo ainda muito maior que a quantidade por dia que nas outras regiões menos desenvolvidas industrial e economicamente. Isso se deve, ainda, a liderança, em comparação as demais regiões, em termos de pessoal ocupado e valor das incorporações, obras ou serviços do setor da construção civil. O economista Fernando Abritta, da Coordenação de Indústria do IBGE, afirma que a região Sudeste “é a principal região do país, a mais populosa, com maior renda”, onde “as maiores empresas se concentram...” Contudo, cabe acrescentar que outras regiões, principalmente o Nordeste e o Centro-Oeste, vêm também tendo um bom crescimento do setor. (AGÊNCIA BRASIL, 2013)

A crescente quantidade de entulho lançado em áreas públicas dá ensejo à criação de um problema de grandes proporções, cujas reais dimensões ainda são desconhecidas, já que a responsabilidade para com os RCC é dos respectivos geradores.

A constituição da massa de resíduos, via de regra, garante um alto potencial de reaproveitamento dos mesmos, o que já é uma realidade em outros países e que precisa ser praticada mais no país. Para essa efetivação, torna-se necessário estimular políticas governamentais e iniciativas de empresas do ramo quanto à redução de geração, controle, coleta, transporte e disposição final, com o intuito de viabilizar o emprego destes resíduos, também, como matéria-prima na produção de novos materiais, que é o foco deste trabalho.

ESTRATÉGIAS PARA BENEFICIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os fatos ocorridos anteriormente consolidam a necessidade da realização de uma estrutura de gerenciamento dos RCC. Quanto ao tratamento e à disposição, os resíduos são destinados em função de sua classificação. As resoluções CONAMA nº 307/ 2002 e nº 448/2012 estabeleceram as seguintes formas de destinação de resíduos:

Resíduos Classe A: devem ser utilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos Classe A e de preservação de material para usos futuros;
Resíduos Classe B: devem ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
Resíduos Classe C ou D: devem ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas. (NAGALLI, 2014, p. 78)

De maneira geral, um resíduo está sujeito a operações e/ou processos que tenham como finalidade dotá-lo de condições de uso como matéria-prima ou produto. Nesse sentido, devem-se levantar estratégias de beneficiamento de resíduos a destiná-los a usos menos nobres, como aterros ou incineração.

O aproveitamento interno de resíduos é uma das alternativas a serem buscadas por construtoras. Pensar sobre os processos construtivos e o modo como são desenvolvidos, é o primeiro passo na solução para o tratamento de resíduos em uma obra.

O modo de processamento desses resíduos é determinado durante a fase de demolição, em função de suas características de resistência mecânica e da área da mineração. São empregadas como técnicas de processamento, que serão descritas a seguir:

- Britagem (redução),
- Separação magnética e peneiramento,
- Classificação do agregado, e
- Disposição final.

Todo RCC deve ser vistoriado a fim de retirar as impurezas, conforme visto na figura 1. Entende-se pelas impurezas como partículas sólidas (papel, plástico, etc.) presentes no material a ser demolido. Estas partículas geralmente são de grandes dimensões, sendo assim, o processo empregado para retirá-las é a catação manual.



Figura 1: Resíduos de construção e demolição contaminados (HONÓRIO, 2010)

a) Britagem

Após a retirada das impurezas, o RCC está preparado para ser moído. Este material, então, é inserido em um aparelho chamado britador para realizar a britagem (fragmentação) do resíduo.

Segundo Honório (2010), a britagem consiste na quebra de partículas principalmente pela ação de esforços compressivos ou de impacto. Os esforços compressivos são aplicados, em geral, por meio do movimento periódico de aproximação e afastamento de uma superfície móvel contra outra fixa.

Existem diversos tipos de britadores como, por exemplo, os britadores de mandíbulas, de impacto, de martelo, cônicos, de rolos, etc. e cada um tem uma determinada função. De acordo com Neves e Tavares (2004), as diferenças principais entre os vários equipamentos estão associadas aos métodos de aplicação de cargas e aos aspectos mecânicos da aplicação desses esforços a diferentes tamanhos de partículas. Quando a partícula possui maiores dimensões, a energia necessária para fraturar cada partícula individual é alta, embora a energia por unidade de massa seja tipicamente baixa. Conforme o tamanho da partícula vai diminuindo, a energia necessária para fraturar uma partícula diminui, mas a energia por unidade de massa aumenta rapidamente. Portanto, os equipamentos, que geralmente são usados na cominuição (fragmentação, pulverização) grossa, precisam ser robustos e de grande porte, enquanto que aqueles usados na cominuição fina devem ser capazes de distribuir energia em um volume relativamente grande.

b) Separação magnética e peneiramento

Segundo Vedroni (2007), após a trituração, são transportados por uma correia que passa por um separador magnético onde o metal contido no RCC é retirado e por uma nova separação manual para retirada de materiais não convenientes para o processo dos agregados a serem constituídos. Após esta separação em peneiras, é selecionado em agregados de variados tipos de granulometria, conforme o britador utilizado.

Observe na figura 2, o trajeto que é feito pelo RCC passando pelo processo da britagem, separação e de peneiramento.

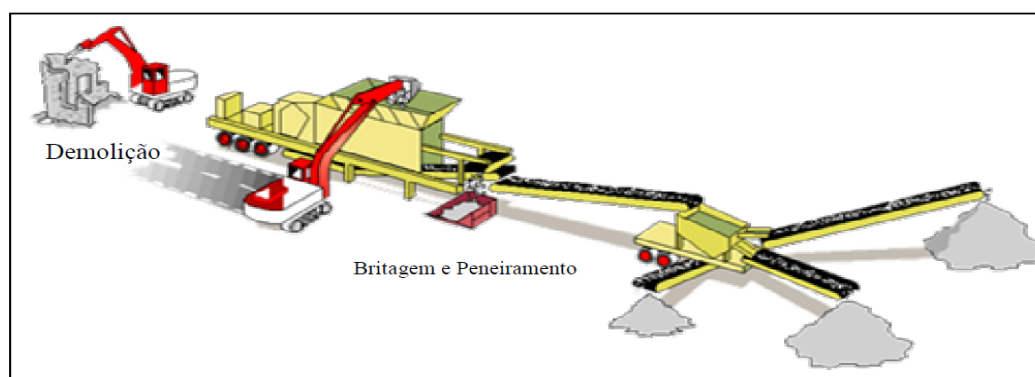


Figura 2: Processos de britagem, separação magnética e peneiramento do RCC (VEDRONI, 2007)

A estrutura é primeiramente demolida. Após este estágio, o RCC é inserido no tipo de britador que mais seja adequado de acordo com as especificações do concreto. Posteriormente, este material britado passa por um peneiramento onde ficam retidos os grãos com dimensões menores. A seguir, este material é separado e já pode ser usado como agregado da produção de concreto.

c) Classificação do agregado

Os agregados provenientes desses processos de beneficiamento apresentam características particulares, podendo ser empregados em diversos usos, como mostra o quadro 1. (NAGALLI, 2014)

Quadro 1: Uso dos agregados na construção civil (NAGALLI, 2014; DALPINO, 2008)

Produto	Características	Usos recomendados
Areia	Diâmetro máximo de 4,8 mm (de blocos de concreto e concreto)	Contrapiso; argamassa para assentamento; bloco de vedação
Pedrisco	Diâmetro máximo de 6,3 mm (de blocos de concreto e concreto)	- Artefato de concreto; piso intertravado; bloco de vedação
Brita 1 ou 2	Diâmetro máximo de 39 mm (de blocos de concreto e concreto)	- Concreto sem funções estruturais, obras de drenagem
Bica corrida	Diâmetro máximo de 63 mm (de blocos de concreto e concreto)	- Sub base e base de pavimentos rodoviários, regularização de vias não pavimentadas
Rachão	Diâmetro máximo de 150 mm (de blocos de concreto e concreto)	- Substituição de solo, terraplenagem, drenagem

d) Disposição final

Os materiais não aproveitados deverão ser enviados aos aterros de resíduos da construção civil. Os aterros de construção civil devem obedecer a parâmetros de acordo com a NBR 15113/2004.

Estes materiais devem ser armazenados de forma que não garanta riscos à saúde da população e ao meio ambiente. Serão utilizadas nestes materiais outras técnicas de redução de tamanho dos resíduos. Espera-se que estes materiais sejam reaproveitados ou ainda em alguma aplicação futura, seja no próprio local ou em qualquer outra região.

ESTUDO DE CASO

O agregado reciclado foi utilizado em diversas obras nos últimos anos, entre elas a obra da reforma do Maracanã, a reconstrução dos estádios da Fonte Nova, na Bahia, no antigo Palestra Itália, em São Paulo e, mais recentemente, na construção do Parque Olímpico do Rio de Janeiro (área do antigo Autódromo Internacional de Jacarepaguá), que é o estudo de caso.

O agregado reciclado também é verificado como agregado para concreto não estrutural, substituindo os agregados convencionais como areia e brita (ZORDAN, 2006), de acordo com as normas NBR 15116/ 2004.

De acordo com Dalpino (2008), as principais vantagens dessa utilização são:

- A utilização dos vários componentes dos RCC para a produção do agregado de resíduo misto;
- A economia de energia no processo de moagem do entulho para o uso de concreto não estrutural, o qual requer agregado com granulometria graúda em relação a sua utilização em argamassas;
- A possibilidade de melhorias no desempenho do concreto em relação aos agregados convencionais, quando se utiliza baixo consumo de cimento.

A obra em questão, Parque Olímpico do Rio de Janeiro, será o “coração” dos jogos olímpicos em 2016 - RIO 2016 (Figura 3). Nele ocorrerá grande parte dos eventos e será, segundo estudos, o local de maior circulação de pessoas na época de realização dos jogos.



Figura 3: Projeto Parque Olímpico do Rio 2016 (Concessionária RIOMAS, 2012)

O projeto do Parque Olímpico foi concebido para provocar o menor impacto possível na cidade do Rio de Janeiro e incentivar a construção sustentável. Uma das medidas contratuais e acertadas com o Comitê Olímpico Internacional (COI) é a certificação ambiental LEED¹ na construção. O LEED, de acordo com *Green Building Council Brasil*, é um sistema de certificação que busca incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade.

a) Composição dos resíduos da obra

O Autódromo começou seu serviço de demolição em 06 de Julho de 2012. Inicialmente, foram demolidas parte das estruturas metálicas das arquibancadas. Posteriormente, seguiram os serviços de demolição do pavimento e demolição das estruturas de concreto (arquibancadas, boxes, *pit-stops*, torre de controle, viaduto, portarias e fundações) (Figura 4).



Figura 4: Demolição dos boxes e do Viaduto (Concessionária RIOMAS, 2012)

Dentre os componentes presentes no material demolido, foram encontrados: concreto, argamassas, blocos cerâmicos, gesso e outros materiais. Materiais como madeira e poliméricos foram descartados devido ao seu poder contaminante, pois esses materiais não ajudariam na obtenção da resistência ideal do concreto.

Segundo a Concessionária RIOMAS, empresa responsável pela construção do Parque Olímpico, estima-se que foram demolidos mais de 16 mil metros cúbicos de concreto. Para efeito comparativo, se imaginarmos que um caminhão betoneira tem em média 8 metros cúbicos, o material demolido corresponde a mais de dois mil caminhões de concreto.

Durante a demolição, aproveitaram-se as estruturas metálicas das arquibancadas do antigo Autódromo para a construção do seu canteiro de obras, evitando a compra de materiais de construção como madeira, colaborando

¹ *Leadership in Energy and Environmental Design*

assim com a preservação de bens naturais e tendo uma redução de custos. Medidas de controle da qualidade do ar também foram adotadas, como a substituição de combustíveis poluentes por outros de menor impacto. Toda água utilizada em pias e chuveiros foi armazenada para ser reutilizada nos sanitários.

b) Ensaios de caracterização dos materiais

Todos os materiais demolidos do Autódromo previstos para reaproveitamento passaram por ensaios. Estes ensaios eram necessários a fim de se garantir que os materiais teriam sucesso na sua aplicação. Todos os ensaios utilizados tiveram como base as Normas Técnicas Brasileiras da ABNT.

Os ensaios utilizados para os materiais demolidos foram:

- Teor de cloretos;
- Granulometria;
- Índice de suporte Califórnia;
- Grau de compactação.

Teor de cloretos

O ensaio de teor de cloretos segue a NBR 9917/2009. Este teste foi necessário, pois o solo na localização do Autódromo é bastante argiloso e com alta concentração de matéria orgânica, sendo ainda agravado por encontrar-se às margens da lagoa de Jacarepaguá.

O ensaio de teor de cloretos, segundo a NBR 9917/2009, tem como objetivo: “prescrever o método para determinação do teor de sais solúveis em água, em agregados para concreto, dosando-se particularmente os teores de cloretos e sulfatos solúveis”.

Após a britagem, caso estas substâncias estejam presentes acima dos valores requisitados na norma, diz que o concreto encontra-se contaminado e se for usado como agregado poderá contaminar toda a estrutura, propiciando um aparecimento mais rápido da ferrugem.

Granulometria

Este ensaio segue os preceitos da NBR 7181/1984. Os ensaios granulométricos permitem obter a gama de dimensões dos RCC.

Os materiais são separados por granulometria, após o resultado desse ensaio, para serem futuramente utilizados de acordo com a necessidade. Os ensaios granulométricos são importantes para viabilizar que o RCC seja utilizado como camadas de pavimento. Britas de maiores dimensões podem ser usadas como britas componentes de muros de Gabião.

Índice de suporte Califórnia

O Índice de suporte Califórnia (CBR²) é um ensaio que permite determinar a resistência do solo à compressão. O ensaio segue o descrito no DNER-ME 049/1994. Neste ensaio, mede-se a pressão necessária para produzir a penetração de um pistão em um corpo de prova de solo e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente.

Grau de compactação

O ensaio de compactação de amostras trabalhadas (DNER-ME 162/1994) permite determinar a correlação entre o teor de umidade e a massa específica do solo que passa pela peneira de 19 mm.

Este ensaio é importante principalmente para determinar as condições as quais o solo é submetido. Através dessa metodologia, verifica-se se o solo aguenta os esforços solicitantes de tráfego.

² *California Bearing Ratio*

c) Dosagem do concreto

O concreto foi dosado através do método desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas de Tecnológica (IPT) vinculado à Secretaria de Desenvolvimento do Estado do São Paulo.

O método é direcionado para a seleção de materiais constituintes e determinação de suas quantidades relativas nas misturas de concreto a fim de assegurar um adequado desempenho.

Oliveira (2010) afirma que “o método se baseia no fato de que a melhor proporção entre os agregados disponíveis é aquela que consome a menor quantidade de água para se obter uma certa consistência”. Ou seja, ao se fixar a trabalhabilidade necessária, utilizam-se as diversas relações entre os seguintes materiais: água, cimento, agregados, aditivos etc. para se obter a condição ideal. Estabelece, como resultado final de sua aplicação, o diagrama de dosagem graficado sobre três quadrantes, onde estão apresentadas as leis de comportamento expressas pela correlação entre variáveis. (Figura 5)

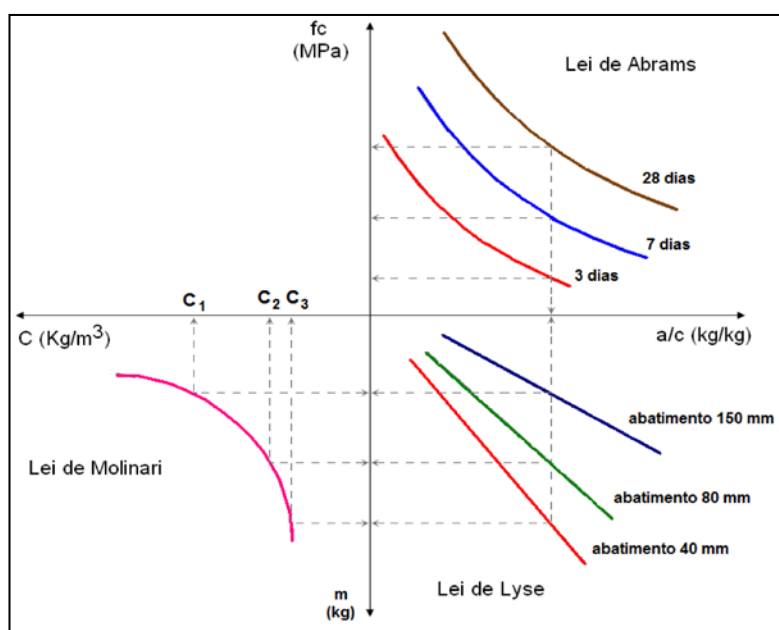


Figura 5: Gráfico de Dosagem (OLIVEIRA, 2010)

d) Resultados

Para todos os ensaios, o cimento utilizado foi o CPIII 40RS da Votorantin. A empresa responsável pela realização dos ensaios foi a CONCREMAT. Juntamente com o resíduo de concreto britado (brita de RCC), foi utilizado como agregado, o pedrisco, originário das camadas de pavimento da pista do Autódromo. Os traços utilizados no estudo são verificados na tabela 3.

Tabela 3: Características dos traços para a produção do concreto não estrutural (Concessionária RIOMAS, 2012)

Fck (MPa)	Cimento (CPII – RS 40) (kg/m ³)	Pedrisco (autódromo) (kg/m ³)	Resíduo de concreto britado (autódromo) (kg/m ³)	Água (Rede pública) (l/m ³)	Fator a/c	Slump previsto	Slump	Temperatura do concreto (° C)
20	447	760	805	259	0,58	100±20	100	20
20	346	899	830	231	0,67	100±20	100	19,5

Com essas resistências, percebe-se que o resíduo de concreto britado pode ser adotado sem problemas como concreto não estrutural, em calçadas, pavimento de concreto, entre outros.

e) Aspectos financeiros do reaproveitamento dos RCC

Outro ponto fundamental para o reaproveitamento de resíduos é a questão do custo final do empreendimento.

A tecnologia permite, como comentado anteriormente, uma grande economia na compra dos materiais componentes do concreto. Sabe-se que o custo total de uma obra é bastante elevado, tornando esta economia, fator de grande peso na hora de optar ou não pela reciclagem de material.

Cabe salientar que o custo de aquisição de um agregado compreende os seguintes itens:

- Mão de obra qualificada e não qualificada para extração e manuseio de equipamentos e maquinário;
- Encargos sociais;
- Aluguel ou compra de equipamentos e máquinas;
- Custo do terreno onde ocorre a extração;
- Consumo de energia elétrica e consumo de água e
- Índices de reajustes anuais baseado em pesquisa de mercado.

Realizando um comparativo entre os custos de produção do agregado de resíduo de concreto britado (agregado RCC) e os custos de aquisição de brita, observa-se na figura 6 uma economia de custos no uso do resíduo, com base nos valores unitários apresentados a seguir:

- Valor do composto do agregado com o resíduo de concreto britado (agregado RCC)³: R\$ 64,90 / m³
- Valor da Brita 1⁴: R\$ 83,94 / m³

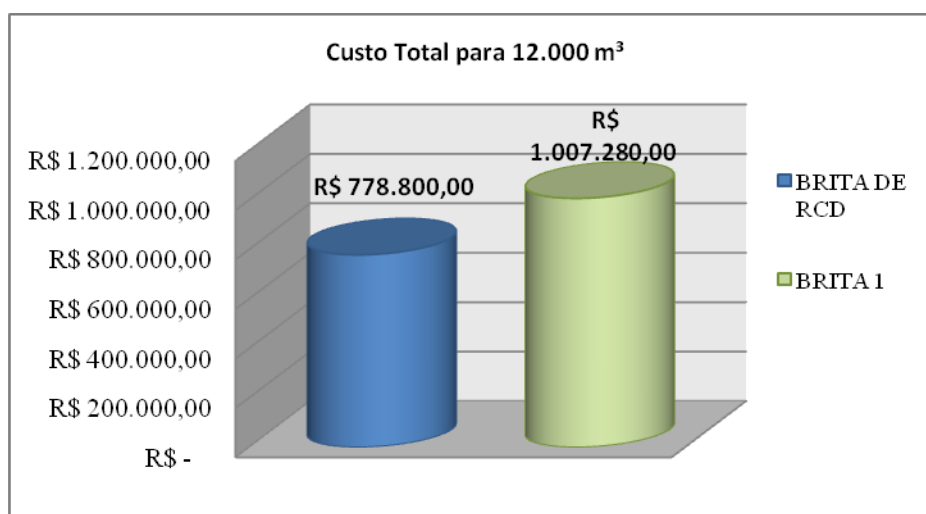


Figura 6: Comparativo dos custos totais dos agregados RCC e da Brita 1 na obra em questão⁵.

f) Aspectos ambientais do reaproveitamento dos RCC

Ao adotar o emprego de agregados de RCC, outros impactos também são evitados e reparados. Tem-se, como exemplo:

³ Valor de acordo com o fornecido pela Concessionária RIOMAS

⁴ Valor de acordo com o guia da construção da editora PINI, atualização de 30/10/2013.

⁵ Os valores de quantitativo de material bem como os de valores unitários compostos foram adaptados com finalidade de proteger dados da Concessionária RIOMAS; contudo, mantiveram-se as devidas proporções para que não haja diferença percentual.

- Redução da exploração dos bens minerais;
- Diminuição da ocupação do solo; e
- Redução da emissão de monóxido de carbono emitido pela combustão dos motores dos caminhões.

São citados dois casos de pedreiras próximas ao Parque Olímpico. Percebe-se que a distância destas (Pedreira da Ibrata Mineração e Pedreira da Tamoio Mineração) ao Parque Olímpico, que encontra-se próximo a duas principais avenidas Abelardo Bueno e Salvador Allende. Logo, a passagem destes caminhões impactaria de forma negativa o meio ambiente.

CONCLUSÕES

Constatou-se com este trabalho, que, hoje, existem diversas formas de incentivos à prática de uma melhor gestão integrada por parte das empresas do ramo da construção civil. Uma delas é o selo verde LEED, que é conferido à empresa que obtém certa pontuação a partir da aplicação de ações sustentáveis. Das possíveis soluções tecnológicas ligadas diretamente à gestão integrada de resíduos sólidos, identificaram-se as técnicas de processamento dos resíduos, que geram os agregados recicláveis, constituintes do concreto.

Outro ponto fundamental para o reaproveitamento dos resíduos da construção civil é a questão do custo final do empreendimento. As técnicas permitem, como comentado anteriormente, uma grande economia na compra dos materiais componentes do concreto.

Cabe destacar que, ao adotar o emprego de agregados de resíduos da construção civil, outros impactos também são evitados e reparados, como a redução da exploração dos bens minerais; a diminuição da ocupação do solo; e a redução da emissão de monóxido de carbono emitido pela combustão dos motores dos caminhões.

Os resultados dos ensaios realizados para o material demolido das antigas estruturas e pavimentações do Autódromo, que foi utilizado na composição do concreto, como agregado graúdo, mostraram-se adequados. Apesar deste concreto não ter fim estrutural, atendeu as expectativas já que foi empregado para pavimentação do Parque Olímpico do Rio de Janeiro. Houve sim, uma diminuição em sua resistência característica, contudo, não acentuada a ponto de inutilizá-lo. Os resultados seriam satisfatórios até mesmo para um concreto estrutural.

Face ao exposto, provou-se que o reaproveitamento de concreto demolido como agregado graúdo traz não apenas benefícios à empresa que se utiliza da tecnologia, como também à sociedade em geral, promovendo bem estar social, sustentabilidade, proteção ao meio ambiente com a redução de impactos negativos e até mesmo gerando postos de trabalho diretos e indiretos.

Agradecimento especial à Concessionária RIOMAS pelas informações fornecidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE) Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012. Edição Especial de 10 anos. Disponível em: < <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf> > Acesso em 23 Jul. 2014
2. Agência Brasil. Região Sudeste lidera obras e empregos na construção civil. 28/06/2013. Disponível em: <<http://economia.ig.com.br/empresas/industria/2013-06-28/regiao-sudeste-lidera-obras-e-empregos-na-construcao-civil.html>> Acesso em 03 Ago 2014
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Boletim Técnico 106 – Guia Básico de Utilização do Cimento Portland. São Paulo, 2002.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/>> Acesso em 27 Jul. 2013.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 7181:1984 Solo – Análise granulométrica. São Paulo, 1984.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 9917:2009 - Agregados para concreto - Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis. São Paulo, 2009.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 15.112:2004 - Resíduos da construção civil e resíduos volumosos. Áreas de Transbordo e Triagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação. o. São Paulo, 2004.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 15.113:2004 – Resíduos Sólidos da Construção Civil e resíduos inertes. Aterros. Diretrizes para projeto, implantação e operação. São Paulo, 2004.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 15.114:2004 - Resíduos sólidos da construção civil. Áreas de Reciclagem. Diretrizes para projeto, implantação e operação. São Paulo, 2004.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT - NBR 15.116:2004 – Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil. Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural. São Paulo, 2004.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT NBR 11768: 2011 - Aditivos químicos para concreto de cimento Portland – Requisitos. São Paulo, 2011
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). Disponível em: <<http://www.abrecon.com.br/>> Acesso em 29 de outubro de 2013.
13. BAUER, L.A.F. Materiais de Construção. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 1994.
14. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 01, de 23 de Janeiro de 1986. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1986.
15. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 307, de 5 de Julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília, 2002.
16. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 384, de 16 de 16 Agosto de 2004. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Brasília, 2004.
17. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 431, de 2011. Altera o art. 3º da Resolução nº 307/ 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. Brasília, 2011.
18. BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 448, DE 18 DE JANEIRO DE 2012. Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Brasília, 2012.
19. CABRAL, A.E.B. Manual sobre os resíduos sólidos da construção civil. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará. Fortaleza, 2011.
20. CARVALHO, J.D.N. Sobre as origens e desenvolvimento do concreto. Revista Tecnológica, pág. 19- 28, 2008.
21. CONCESSIONÁRIA RIOMAS. Parque Olímpico da Cidade do Rio de Janeiro. 2012
22. DE SOUZA, U.E.L. Como reduzir perdas nos canteiros. São Paulo: Pini, Março 2005.
23. DALPINO, C.E.R. Utilização de resíduos da construção civil para a produção de concreto. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Universidade Anhembi Morumbi. 2008. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-08/civil-09.pdf>> Acesso em 29 Jul. 2014.
24. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – ME 049/ 1994. Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Método de Ensaio.
25. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER – ME 162/ 1994. Solos – Ensaio de Compactação utilizando amostras trabalhadas. Método de Ensaio.
26. DIEHL, A.A.; TATIM, D.C. Pesquisa em Ciências Sociais Aplicadas. São Paulo: Editora Pearson, 2004.
27. FIGUEIRA, DE ALMEIDA, DA LUZ, Cominuição. CETEM, Rio de Janeiro, 2004.
28. GUIMARÃES, J.E.P.A. A cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil. São Paulo: Pini, 1997.
29. HONÓRIO, O. Estudo de aumento de capacidade da planta de britagem da usina de germano. Ouro Preto, 2010, Dissertação de Mestrado. Disponível em < pt.sbmchina.com/Planta-Britagem> Acesso em 12 Out. 2013
30. INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO (IBRACON). Concreto e Construções. Publicação Técnica da IBRACON. Ano XXXVII / nº 53, 2009.
31. LIMA R. S., LIMA R. R. R. Guia Para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Publicação CREA-PR. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br>> Acesso em 23 Nov 2013.

32. MAROUN, C.A. Manual de gerenciamento de resíduos: Guia de procedimento passo a passo. Sistema FIRJAN. Rio de Janeiro, 2006.
33. NAGALLI, A. Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil. São Paulo: Oficina de textos, 2014.
34. NETO, J. da C.M. Gestão de resíduos de construção e demolição no Brasil. São Carlos, Rima, 2005.
35. NEVES, P. B.; TAVARES, L. M. M. Racionalização do Uso da Energia com Auxílio de Simulação Computacional. Revista Tecnologia em Metalurgia e Materiais. Volume nº2. p. 53-58, out. – dez 2004. Disponível em: <<http://www.abmbrasil.com.br/materiais>> Acesso em 23 Mai. 2013.
36. OLIVEIRA, D.E.N. Estudos de métodos de dosagem de concreto: Método EPUSP/IPT. Curso de Engenharia Civil. UNIVASF. Juazeiro, 2010. Disponível em:< pt.scribd.com/doc/210343196/EPUSP-IPT>. Acesso em 22 Fev. 2013.
37. PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos da construção urbana. Dissertação de Mestrado. São Paulo, 2001. Disponível em: < <http://www.pucrs.br/edipucrs/gestao deresiduos.pdf>> Acesso em 27 Out. 2013.
38. SANTOS, R. E. A armação do concreto no Brasil: História da difusão da tecnologia do concreto armado e da construção da sua hegemonia. Belo Horizonte, 2008.
39. Sustentabilidade na demolição e Construção. Revista Manutenção e Tecnologia M&T. Edição 146, Junho/11. Disponível em: <http://www.revistamt.com.br/index.php?option=com_contenido&task=viewMateria&id=665> Acesso em 27 Out. 2013.
40. VEDRONI, J. W. Estudo de caso sobre a utilização do RCD (resíduos de construção e demolição) em aterros de valas nos pavimentos. Piracicaba SP. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2007. 181p.
41. VIEIRA, G.; DAL MOLIN, D. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. Porto Alegre, 2004. Disponível em <<http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3575/197>> Acesso em 27 Out. 2013.
42. ZORDAN, S.E. A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto. Dissertação de Mestrado. UNICAMP. Campinas, 1997.
43. _____. A utilização do entulho como agregado para o concreto. São Paulo: EPUSP/PCC, 2006. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br>>. Acesso em 30 Jul. 2014.