

## **Viabilidade Econômica da Utilização de Resíduos de Demolição Reciclados na Execução do Contrapiso de um Edifício Localizado na Zona Leste da cidade de São Paulo**

*Economic viability of demolition recycled wastes used during the construction of the subfloor of a building located in the east side of the city of São Paulo*

João Alexandre Paschoalin Filho<sup>1</sup>, João Henrique Storopoli<sup>2</sup>, Eric Brum Lima Duarte<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Professor, Universidade Nove de Julho, São Paulo, Brasil

### **Resumo**

A construção civil é responsável por um considerável impacto ambiental, quer seja pela demanda por matérias primas naturais ou pela geração de resíduos de suas atividades. A resolução no 307 de 5 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente classifica os resíduos de construção civil em diferentes classes em função de suas características, além de apresentar formas para sua destinação final. Esta resolução destaca que os resíduos de construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de “bota fora”, encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei. Dessa maneira, fica de responsabilidade do gerador destinar de forma correta os resíduos produzidos de acordo com sua classificação. Esta pesquisa apresenta a viabilidade econômica de utilização de resíduos de demolição reciclados na substituição de material natural para a execução base do contrapiso do terceiro subsolo um edifício localizado em São Paulo. Por meio dos estudos conduzidos pôde-se concluir que a utilização dos resíduos reciclados conduziu a um custo 64% inferior à utilização do material natural, pois possibilitou a redução dos custos com aquisição de material natural e transporte.

**Palavras-chave:** Resíduos de construção civil, gerenciamento de resíduos sólidos, sustentabilidade.

### **Abstract**

The civil construction industry is responsible for a considerable environmental impact, whether the demand for natural raw materials or the generation of waste from its activities. The Resolution 307 of 5 July 2002 of the National Environmental Council classified construction and demolition wastes into different classes according to their physical characteristics, and forms to submit its disposal. This resolution highlights that construction waste can't be disposed of on domestic wastes in landfills, slopes, water bodies, and areas protected by law. Thus, it is the responsibility of the waste generator provide the correctly destination of the produced waste according to their classification. This research presents the economic feasibility of using recycled demolition waste in replacing natural material for the base implementation of the third basement subfloor a building in Sao Paulo. Through the conducted studies it was concluded that the use of recycled waste has led to a cost 64 % less than using natural material as possible to reduce the costs of acquisition and transportation of natural material.

**Keywords:** Civil construction wastes, solid wastes management, sustainability

## I INTRODUÇÃO

Dentre os materiais que compõem a massa de resíduos sólidos urbanos (RSU) produzida diariamente, grande parte se deve a atividades ligadas à construção civil. O crescimento deste setor, que é fortemente alavancado pelo panorama econômico e a necessidade de se atender aos déficits habitacional e de infraestrutura, é também responsável por um considerável impacto ambiental, quer seja pela crescente demanda por matérias primas naturais ou pela geração de resíduos durante a demolição de edifícios antigos ou execução de novas obras. Apesar da construção civil ser considerada como um setor que causa significativos impactos ao meio ambiente, tanto urbano quanto natural, este setor também pode ser caracterizado como um dos elos da cadeia produtiva que mais investe em inovação tecnológica e desenvolvimento de ferramentas de gerenciamento e manejo de seus resíduos (Paschoalin Filho et al., 2013).

Devido aos grandes volumes gerados, os resíduos de construção civil (RCC) têm merecido especial atenção de pesquisadores que buscam não apenas reduzir sua geração, mas também viabilizar a sua reutilização, reciclagem e manejo sustentável, buscando incrementar nestes materiais valor agregado de mercado, além de reduzir a demanda por recursos naturais. A resolução no 307 de 5 de julho de 2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) classifica os resíduos de construção civil em diferentes classes em função de suas características, além de apresentar formas de destinação destes de acordo com suas classificações. Dentre as formas de destinação, a resolução CONAMA no 307/2002 apresenta o reuso e reciclagem dos resíduos no próprio canteiro de obras, envio à pontos de entrega voluntária (para o caso de destinação de pequenos volumes), áreas de transbordo e triagem (ATT's), cooperativas de reciclagem, Usinas de Reciclagem de Entulho (URE), aterros licenciados entre outros. A resolução CONAMA no 307/2002 também destaca que os resíduos de construção civil não poderão ser dispostos em aterros de resíduos domiciliares, em áreas de "bota fora", encostas, corpos d'água, lotes vagos e em áreas protegidas por lei.

Dessa maneira, é de responsabilidade do gerador destinar de forma correta os resíduos produzidos de acordo com sua classificação, sendo que as ações necessárias para tal deverão estar previstas no Projeto de Gerenciamento de Resíduos da obra, que deverá obrigatoriamente abranger ações tais como: caracterização e quantificação dos volumes de resíduos produzidos, triagem, acondicionamento e transporte nas formas previstas pela resolução CONAMA no 307/2002.

Diante deste contexto, esta pesquisa apresenta a viabilidade econômica da utilização de materiais reciclados na execução da base do contrapiso do terceiro subsolo de um edifício comercial localizado na zona leste da cidade de São Paulo. Os materiais foram obtidos por meio da reciclagem dos resíduos provenientes da demolição da estrutura de um edifício antigo que se situava no local da obra em estudo. Por meio dos dados obtidos pôde-se constatar que a substituição de materiais naturais pela utilização de material reciclado na execução da base do contrapiso conduziu à ganhos econômicos significativos, pois proporcionou redução nos custos de transporte e destinação final dos resíduos gerados e nos custos de aquisição de matéria prima natural

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 A CONSTRUÇÃO CIVIL E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Apesar de sua importância para o desenvolvimento do país, o setor da construção civil arca com o ônus de ser um elo da cadeia produtiva responsável por um impacto ambiental significativo oriundo de suas atividades (Paschoalin Filho et al., 2013). Dessa maneira, é importante que sejam criadas na construção civil novas ferramentas de gerenciamento no intuito de se enfrentar os desafios gerados por suas etapas construtivas.

Os impactos negativos causados pela indústria da construção iniciam-se na fase de extração das matérias primas nas jazidas naturais e se estendem até a execução das obras. Entre os impactos causados Amadei et al. (2011) e Paschoalin Filho e Graudenz (2012) destacam: fim de reservas naturais não renováveis do material explorado, alteração na paisagem, desmatamento, erosão, poluição do ar decorrente de emissão de gás carbônico na atmosfera e poluição sonora. John e Agopyan (2000) e Amadei et al. (2011) complementam que, além dos impactos gerados durante a extração das matérias primas naturais, também ocorrerão os impactos causados pelos resíduos gerados nas etapas posteriores,

ou seja, na construção, demolição, manutenção, adequação e reforma dos edifícios. John e Agopyan (2000) e Paschoalin Filho e Graudenz (2012) comentam que em grande parte das vezes os impactos causados pela geração dos resíduos em obra (tanto de construção, reforma ou demolição) decorrem da falta de planejamento das atividades executivas, baixo grau de precisão das obras, precariedade das condições de trabalho e falta de padronização dos materiais de construção.

Segantini e Wada (2011) comentam que a construção civil é uma atividade geradora de grandes volumes de resíduos, tendo como consequência enormes desperdícios de materiais naturais, como areia, pedra, madeira, cimento, entre outros. De acordo com Ulsen et al. (2010), cerca de 90% da massa total de resíduos de construção civil (RCC) gerada no Brasil e na Europa é composta por concretos, argamassas, solo e gesso. Silva e Fernandes (2012) apontam que a construção civil consome cerca de 50% de todos os recursos naturais disponíveis, além de gerar um volume elevado de resíduos, ou seja, cerca de 40 a 60% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos diariamente nas cidades tem origem no setor da construção civil. Bohne et al. (2008) complementam afirmando que os impactos causados pelos RCC não se restringem somente a esfera ambiental, mas também afetam a econômica, uma vez que o descarte acentuado deste material acarreta em elevados custos de transporte para sua disposição final. Existem diversos trabalhos científicos que buscam avaliar os impactos ambientais causados pela indústria da construção civil em toda a sua cadeia produtiva, dentre estes podem ser relacionados os apresentados no Quadro 1 a seguir

Quadro 1 – . Estudos do impacto ambiental causado pela atividade da construção civil

<b>Tipos de impactos</b>	<b>Araújo e Gunther (2007)</b>	<b>Motta e Aguilar (2009)</b>	<b>Pegoraro et al. (2010)</b>	<b>Ângulo et al. (2011)</b>	<b>Yuan et al. (2011)</b>	<b>Banias et al. (2011)</b>	<b>Coelho e Brito (2011)</b>	<b>Ulsen et al. (2013)</b>
Consumo excessivo de recursos naturais	x	x		x	x		x	x
Geração de resíduos	x	x	x	x		x		
Perdas e desperdícios			x					
Consumo de energia			x					x
Poluição ambiental	x	x	x	x	x	x	x	
Esgotamento de áreas de aterro				x	x	x	x	x
Altos custos por disposição irregulares		x						
Áreas degradadas	x	x		x		x	x	
Transporte intensivo						x	x	x
Saúde coletiva	x	x		x				

Fonte: adaptado pelos autores

John e Agopyan (2000) comentam que a quantidade de resíduos de construção civil gerada por habitante no Brasil varia entre 230 e 660 kg/hab/ano. De acordo com dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2012) a quantidade per capita no Brasil de resíduos de construção civil coletada, comparando-se os anos de 2010 e 2011, cresceu aproximadamente 6%, ou seja, de 0,618 kg/hab/dia para 0,656 kg/hab/dia. Este incremento correspondeu a uma massa adicional de 7.195 toneladas/dia recolhida. Ainda segundo a ABRELPE (2012), a região Centro-Oeste destacou-se como a que apresentou o maior índice de coleta de resíduos de construção civil per capita, aproximadamente 0,966 kg/hab/dia. Dentre as regiões prospectadas, a região Norte apresentou o menor índice de coleta, ou seja, apenas 0,330 kg/hab/dia. A Tabela 1 apresenta a estimativa da geração de resíduos de construção civil em algumas cidades brasileiras citadas por diversos autores.

Tabela 1- Estimativa de geração de resíduo de construção civil (RCC) em algumas cidades brasileiras

Cidade/Estado (Ano)	Total RCC (t/dia)	Taxa per capita (kg/hab/ano)	Autores
São Carlos/SP (2007)	101	170	Fagury e Grande (2007)
Rio de Janeiro/RJ (2007)	2877	180	Nunes <i>et al.</i> (2007)
Passo Fundo/RS (2008)	101	200	Bernardes <i>et al.</i> (2008)
Belo Horizonte/MG (2009)	2278	920	Costa e Oliveira (2011)
Salvador/BA (2009)	2300	310	Evangelista <i>et al.</i> (2010)
Goiânia/GO (2009)	1500	420	Silva <i>et al.</i> (2010)
Pelotas/RS (2012)	404	120	Tessaro <i>et al.</i> (2012)
Juazeiro do Norte/CE (2012)	100	120	Marinho e Silva (2012)

Fonte: adaptado pelos autores

Segundo Leite *et al.* (2010) e Ângulo *et al.* (2013) o resíduo de construção civil (RCC) possui uma grande variedade de materiais em sua composição, derivados das inúmeras atividades construtivas que ocorrem concomitantemente no desenvolvimento de uma obra. Segundo Ângulo *et al.* (2013) e Lima e Cabral (2013) a determinação precisa dos materiais que constituem uma massa de RCC é de difícil determinação, pois representa uma equação de inúmeras variáveis, tais como: tipo de obra executada; tipo de materiais empregados; fase da obra; qualidade da mão de obra empregada; emprego de ferramentas de gestão na obra; possibilidade de certificação da obra; região econômica da realização da obra; diferenças regionais do país; técnicas construtivas; rastreabilidade dos resíduos produzidos; implantação de reciclagem e reutilização dos materiais no canteiro. Diante dessa problemática, diversos autores têm se dedicado a estudar e caracterizar os principais componentes da massa de RCC. A Tabela 2 apresenta a composição do RCC em algumas localidades brasileiras.

Os parâmetros apresentados na Tabela 2 revelam que a massa de RCC é composta majoritariamente por resíduos cimentícios e cerâmicos, podendo ser classificados como Classe A de acordo com a resolução no 307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Mália *et al.* (2011) comentam que os valores representados na Tabela 2 indicam a ocorrência, na composição do RCC, de materiais com alto valor econômico e grande potencial de reinserção na cadeia produtiva da construção civil. No entanto, estes continuam sendo descartados diariamente em diversas localidades.

## 2.2 CLASSIFICAÇÃO E DESTINAÇÃO DOS RCC

Segundo a resolução CONAMA no 307/2002, os resíduos de construção civil podem ser classificados em quatro Classes (A, B, C, D). Em 2004, em complementação à resolução CONAMA no 307/2002, foi elaborada a resolução CONAMA no 348/2004, na qual foi incluído o amianto como pertencente à classe de resíduos perigosos. Antes da promulgação da Resolução nº 307/2002 do CONAMA, o Brasil dispunha da Norma Brasileira denominada de NBR 10.004 - "Resíduos Sólidos - Classificação", publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no ano de 1987, que servia de referência quanto à classificação dos resíduos sólidos.

Após a entrada em vigor da Resolução CONAMA nº 307, a NBR 10.004 de 1987 sofreu uma revisão e foi publicada novamente no ano de 2004 com alterações, complementações e atualizações

Tabela 2 – Composição do RCC em algumas cidades brasileiras

Material	Marques Neto e Schalch (2010)	Silva <i>et al.</i> (2010)	Carmo <i>et al.</i> (2012)	Tessaro <i>et al.</i> (2012)	Lima e Cabral (2013)
	São Carlos, SP	Goiânia, GO	Belo Horizonte, MG	Pelotas, RS	Fortaleza, CE
Argamassa	8%	3%	25%	32%	22%
Concreto	26%			-	15,6%
Cerâmica polida	14%	94%	51%	-	10,4%
Cerâmica	19%			31%	-
Pedras	10%	-	-	-	-
Areia	9%	-	-	-	-
Solo		-	-	25%	-
Gesso	1%	-	-	1%	-
Madeira	7%	-	-	4%	-
Metais	-	-	-	2,5%	-
Fibrocimento	-	-	-	-	-
Outros	6%	3%	24%	4,5%	47,4%

Fonte: adaptado pelos autores

que vinham de encontro com as questões ambientais e o desenvolvimento sustentável em discussão desde a sua primeira publicação.

De acordo com a NBR 10.004/2004, os resíduos de construção civil são classificados como inertes, ou seja, classe II-B, uma vez que estes não apresentam constituintes que quando solubilizados afetem os padrões de potabilidade da água.

O Quadro 2 apresenta a classificação dos resíduos de construção de acordo com a resolução CONAMA no 431/2011, que alterou a classificação apresentada na resolução CONAMA no 307/2002, alterando a classificação do Gesso de Classe C para Classe B. De acordo com o artigo 10º da Resolução CONAMA no 307/2002, os resíduos de construção civil deverão ser destinados de acordo com o apresentado no Quadro 3.

De acordo com o artigo 5º da resolução CONAMA no 307/2002 é função de Municípios e do Distrito Federal a elaboração de um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. Neste plano deverão ser incorporados os seguintes itens: a) Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e b) Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. De acordo com a resolução, é de responsabilidade do município a disponibilização de áreas adequadas para destinação dos resíduos da construção civil, além de ações de fiscalização quanto à deposição inadequada destes resíduos. Em relação ao gerador, o artigo 8º da resolução CONAMA no 307/2002 atribui a este a responsabilidade de elaboração de um Projeto de Gerenciamento dos Resíduos de Construção com objetivo estabelecer procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequados dos resíduos.

Posteriormente, no ano de 2010, a problemática dos resíduos de construção civil no Brasil também foi tratada pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), por meio da lei no 12.305/2010. Esta política, dentre diversos aspectos, prevê redução da geração de resíduos, propondo a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para proporcionar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos e a destinação adequada dos rejeitos, além da necessidade de elaboração de planos de gestão de resíduos por agentes públicos e privados.

### 2.3 RECICLAGEM E REUSO DE RCC

Os resíduos provenientes das atividades de demolição e construção, em função de sua constituição física e volume, apresentam dificuldades para a destinação final. Esses não são aceitos em aterros sanitários e geralmente são acondicionados no meio ambiente urbano sob a forma de caçam-

Quadro 2- Classificação dos resíduos de construção de acordo a resolução CONAMA nº431/2011

Classe	Origem	Tipo de resíduo
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados.	De pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de operações de terraplenagem. Da construção, demolição reformas e reparos de edificações (componentes cerâmicos, tijolos, blocos, telhas e placas de revestimento, concreto e argamassa).
Classe B	Resíduos recicláveis com outras destinações.	Plásticos, gesso, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros.
Classe C	Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Não especificado pela resolução
Classe D	Resíduos perigosos oriundos de processo de construção.	Tintas, solventes, óleos, amianto.
	Aqueles contaminado, oriundos de demolições, reforma e reparo, enquadrados como classe I na NBR10004.	Clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.

Fonte: adaptado pelos autores

Quadro 3- Destinação dos RCC de acordo com CONAMA nº 307/2002

Classe	Destinação
Classe A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.
Classe C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
Classe D	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: adaptado pelos autores

bas. Embora a responsabilidade pela destinação correta dos resíduos seja do gerador, seja ele público ou privado, de acordo com a resolução CONAMA no 307/2002, pequenos geradores não respeitam essa determinação, causando situações de deposição desse material em vias públicas, terrenos baldios ou a beira de córregos. Essa degradação da paisagem urbana estimula a criação de pequenos lixões a céu aberto que contribuem para a proliferação de vetores de doenças e o entupimento dos sistemas de drenagem (Paschoalin Filho, Graudenz, 2012).

O tratamento dos RCC tem merecido particular atenção de pesquisadores e da indústria da construção civil, que têm buscado formas de não apenas reduzir sua geração, mas também viabilizar a sua reutilização, reciclagem ou reaproveitamento. Além de reduzir a demanda por recursos naturais, a utilização de resíduos de construção civil (RCC) em novas obras ajuda a resolver o problema da destinação desses materiais. Essa utilização pode ocorrer sob várias formas, tais como: agregados para concreto não estrutural, produção de argamassa, blocos e tijolos não estruturais, na pavimentação de estradas, em obras de drenagem, estabilização de encostas, recuperação topográfica, dentre

outras possibilidades (Lu, Yuan, 2011; Yuan, 2012). De uma forma geral, a reciclagem dos resíduos de construção civil traz inúmeras vantagens técnicas, econômicas e ambientais que são objeto de estudo de autores como: Tam et al. (2007); Santin (2009); Hwang e Yeo (2011); Yuan e Shen (2011); Arif et al. (2012); Oyedete et al. (2013); Yates (2013); Paschoalin Filho et al. (2013) entre outros. Assim, é consenso entre os diversos autores citados os seguintes benefícios em relação a reciclagem dos RCC: Redução no consumo de recursos naturais não renováveis; Redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem; Redução do consumo de energia durante o processo de produção; Reduções da energia utilizada para extração e transporte dos materiais aos centros consumidores; Redução da poluição; Possibilidades de melhoria no trânsito da região pela diminuição do transporte dos materiais virgens aos centros consumidores; Gerações de emprego e renda e melhoria no âmbito social com uma nova e ampla cadeia produtiva no mercado de trabalho.

Segundo Souza et. al. (2008) a reciclagem e o reaproveitamento dos RCC têm se destacado como alternativas ligadas aos conceitos de sustentabilidade, embutindo valor econômico nos materiais descartados nas obras de engenharia. Desta forma, é atribuída a estes resíduos a condição de material valorizável, ao invés de simplesmente lançá-los ao meio ambiente como mero rejeito. Varela (2010) e Narasimham (2011) comentam que a construção civil possui um alto potencial para consumir materiais reciclados, pois os materiais necessários para produção da grande maioria dos componentes de uma edificação, especialmente os derivados do cimento Portland, são de composição e produção simples, não precisam de grande sofisticação técnica, toleram variabilidade e, em alguns casos, permitem baixas resistências mecânicas.

Embora alguns municípios tenham problemas com a gestão dos resíduos de construção civil, estes se constituem em uma boa oportunidade de negócio (Melo et al., 2011). A análise destes resíduos em municípios do interior do estado de São Paulo, efetuada por Ângulo et al. (2011) mostrou a predominância de resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, correspondendo a 91% em massa. Plásticos, papéis, metais, vidros e madeiras representaram 9%, não tendo sido verificados resíduos perigosos nesse estudo (Ângulo et al., 2011).

De uma forma geral, no Brasil o resíduo de construção e demolição é comumente reciclado como agregado para produção de concreto e argamassa e na manufatura de tijolos; ou também podem ser reutilizados de maneira direta como material de base em obras de terraplenagem, em obras de drenagem, estabilização de encostas ou como material de recuperação topográfica. A reciclagem dos RCC se estabelece como uma solução inovadora para estes materiais, pois oferece a possibilidade de serem reutilizados produzindo benefícios nas esferas ambiental, econômica e social ao invés de simplesmente serem encaminhados para disposição final em aterros (Kralj, 2011). Tam (2009) complementa afirmando que a manufatura de novos produtos utilizando-se RCC se caracteriza como uma potencial contribuição para o desempenho sustentável da construção civil, pois permite uma redução significativa na utilização dos recursos naturais, melhoria da qualidade de vida da sociedade pela não disposição dos rejeitos em aterros e a geração de nova cadeia produtiva pela elaboração do artefato.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

#### 3.1 OBRA EM ESTUDO

A obra consiste na execução da camada de base do contrapiso do terceiro subsolo de um edifício localizado na Avenida Professor Luiz Inácio de Anhaia Melo, próximo à estação de Metrô Vila Prudente, zona Leste da cidade de São Paulo. O projeto prevê que este contrapiso deverá possuir 2500m<sup>2</sup> de área, sendo este executado em concreto de alta resistência com espessura de 10cm. Abaixo do contrapiso deverá ser executada uma camada de base com 20cm de espessura composta por material granular natural (brita#2), totalizando um volume necessário de 500m<sup>3</sup>. A camada de base terá por intuito servir de reforço para que o solo resista às cargas impostas pelo contrapiso que será instalado sobrejacente.

Para que fosse possível a escavação dos três subsolos que irão compor o edifício foi necessário realizar a demolição de parte da antiga estrutura que compunha a edificação pré-existente no local. A demolição foi realizada por equipamentos dotados de marteletes hidráulicos, sendo os resíduos depositados em pilhas localizadas em uma área específica do canteiro de obras.

### 3.2 ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS RECICLADOS

Os volumes de resíduos relatados nesta pesquisa foram obtidos a partir da consulta a documentos elaborados pela empresa de demolição para fins pagamento de serviços e controle de produção da obra. Para o estudo da viabilidade econômica da substituição do material natural por reciclado foram consideradas duas hipóteses de trabalho: a) destinação total dos resíduos gerados pela demolição para aterro licenciado e posterior aquisição de material granular natural em volume suficiente; b) reciclagem dos resíduos de demolição “in loco” por meio da utilização de equipamento móvel de britagem e substituição completa da utilização do material natural pelo reciclado.

No intuito de se calcular os custos de transporte e deposição final dos resíduos foram realizadas cotações de preços de mercado junto a três empresas localizadas na cidade de São Paulo próximas à obra em estudo. Como critério de seleção das empresas transportadoras, foram verificadas as conformidades destas com os seguintes itens: a) Cadastro atualizado junto ao órgão municipal da cidade de São Paulo, ou seja, a AMLURB (Autoridade Municipal de Limpeza Urbana da cidade de São Paulo); b) Apresentação de comprovante de segurança veicular e comprovante de condições operacionais dos veículos para execução da atividade de coleta e transporte, expedido por organismo de inspeção credenciado pelo INMETRO. Também foram levantados os preços de aquisição do material natural (brita#2), em volume necessário para execução da base, e de locação do equipamento de britagem móvel (recicladora), por meio de pesquisa de mercado considerando-se três empresas fornecedoras em cada caso.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resíduos gerados pela demolição da antiga estrutura puderam ser classificados de acordo com a Resolução no307/2002 do CONAMA como sendo Classe A, sendo estes predominantemente cimentícios. Ao total, foram produzidos aproximadamente 510m<sup>3</sup> de RCC, ou seja, o equivalente a 867 toneladas. As Figuras 1 e 2 apresentam a operação de demolição e armazenamento dos resíduos respectivamente.



Figura 1- Estacas em processo de demolição.



Figura 2- Pilha de armazenagem.

Na Tabela 3 são apresentados os custos de transporte e deposição dos resíduos de demolição para o aterro licenciado. Na composição dos preços finais as empresas pesquisadas levaram em consideração fatores como: a) custos de remoção e transporte dos resíduos, b) taxas de deposição cobradas pelo aterro e; c) homogeneidade dos resíduos transportados.

De acordo com a Tabela 3 pode-se notar que os custos de transporte e deposição dos resíduos ao aterro licenciado variaram entre R\$104,00/m<sup>3</sup> e R\$123,00/m<sup>3</sup>, resultando em um valor médio de R\$114,33/m<sup>3</sup>. A Tabela 4 apresenta os preços levantados para aquisição material natural (brita#2) junto a três jazidas próximas ao local da obra.

Tabela 3- Preços fornecidos pelas empresas prospectadas.

Empresas	Custo de transporte/m <sup>3</sup>	Custo total de transporte (R\$)	Custo médio (R\$)
X	R\$ 104,00	53.040,00	58.310,00
Y	R\$ 116,00	59.160,00	
Z	R\$ 123,00	62.730,00	

Fonte: os autores

Tabela 4- Preços levantados em jazidas naturais para fornecimento de brita#2.

Fornecedor	Preço de aquisição (R\$/m <sup>3</sup> )	Preço de aquisição total (R\$)	Custo médio (R\$)
A	68,00	34.000,00	36.667,00
B	70,00	35.000,00	
C	82,00	41.000,00	

Fonte: Os Autores

Observa-se por meio da Tabela 4 que os preços por m<sup>3</sup> de material natural tipo brita#2 apresentaram uma variação de aproximadamente 13% quando comparados o menor e o maior valor obtidos. A Tabela 5 apresenta a composição do custo total da operação, levando em consideração o transporte e deposição dos resíduos gerados e aquisição de material granular natural em volume suficiente para execução da base do contrapiso. Os custos apresentados foram compostos com base nas empresas que forneceram os menores preços para cada atividade, conforme apresentado nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 5- Composição do custo total considerando-se material granular natural e transporte resíduos de demolição destinados para aterro.

Volume Total de transporte de resíduos (m <sup>3</sup> )	Custo Total de Transporte para aterros (R\$)	Volume material natural necessário (m <sup>3</sup> )	Custo Total de material natural (R\$)	Custo Total da operação (R\$)
510	53.040,00	500	34.000,00	87.040,00

Fonte: Os Autores

Por meio da Tabela 5 nota-se que o volume de resíduos a ser transportado para o aterro licenciado é de 510m<sup>3</sup>, sendo o volume de material granular necessário para execução da base do contrapiso igual a 500m<sup>3</sup>. Observando-se a Tabela 5 também se nota que o custo total para o transporte e deposição dos resíduos de demolição para aterro licenciado e a aquisição de material natural, em volume necessário para a execução da base do contrapiso, equivaleu a aproximadamente R\$34,8/m<sup>2</sup> de contrapiso. A Tabela 6 apresenta os preços fornecidos para reciclagem dos resíduos “in loco”, utilizando-se recicladora móvel, bem como sua taxa de mobilização. A recicladora cotada consistiu em um britador móvel de 20 toneladas dotado de esteiras, mandíbulas e eletroímã para a separação de ferragem, com produtividade média de 100 toneladas por hora de material reciclado.

Tabela 6. Levantamento de preços para realização de reciclagem “in loco”.

Ítem	Empresa			Valor médio (R\$)	Desvio padrão	Coef. De Variação
	G (R\$)	H (R\$)	I (R\$)			
Reciclagem	40,00/m <sup>3</sup>	100,00/m <sup>3</sup>	76,00/m <sup>3</sup>	72,00	30,20	41,9%
Taxa de Mobilização do equipamento	10.000,00	20.000,00	12.400,00	14.133,00	5220,47	36,9%

Fonte: Os Autores

Observa-se de acordo com a Tabela 6 que a empresa G foi a que apresentou os menores preços de mobilização do equipamento e reciclagem “in loco” por metro cúbico de resíduo. Com base nos valores informados pela empresa que apresentou os menores preços, na produtividade da recicladora e na necessidade da obra, foi obtido o gráfico apresentado na Figura 3, onde são representadas as curvas referentes a depreciação da taxa de mobilização da recicladora e sua produtividade.

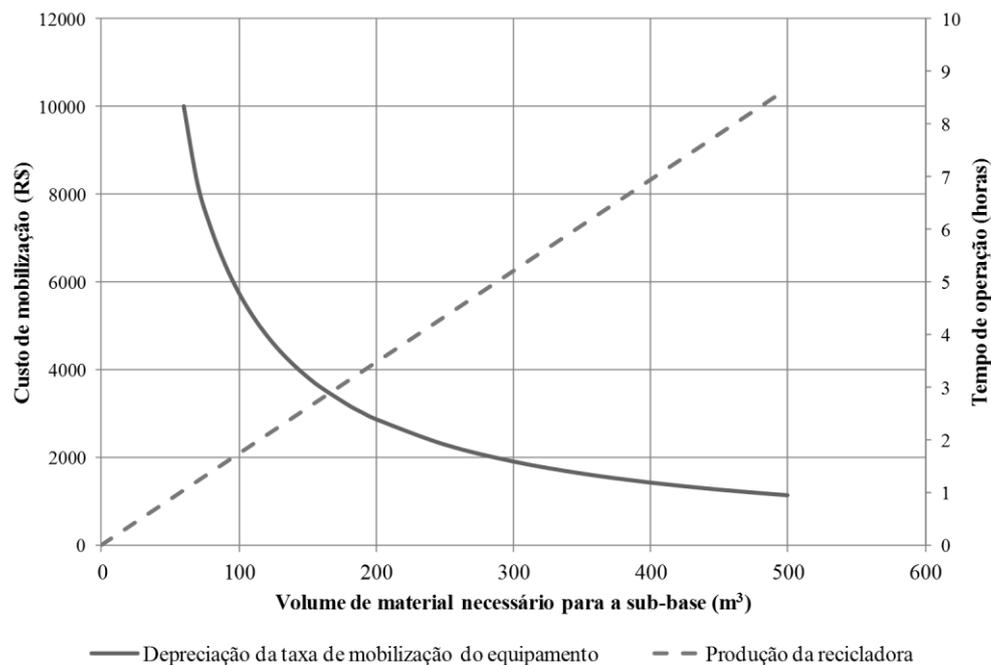


Figura 3. Curvas de produtividade e de depreciação da taxa de mobilização da recicladora.

Fonte: Os Autores

Constata-se pela Figura 3 que, considerando-se a produtividade do equipamento equivalente a 100 toneladas/hora, será necessário um tempo estimado de pouco mais de 8,7 horas de trabalho para a britagem de todo volume de resíduos necessário para a execução da base do contrapiso. Além do mais, verifica-se que o custo referente a taxa de mobilização do equipamento apresentou redução em função da produção da recicladora “in loco”. A Figura 4 apresenta as curvas referentes aos valores referentes à depreciação da taxa de mobilização do equipamento e o custo de britagem dos resíduos considerando-se o valor de R\$40,00/m<sup>3</sup>, fornecido pela empresa G.

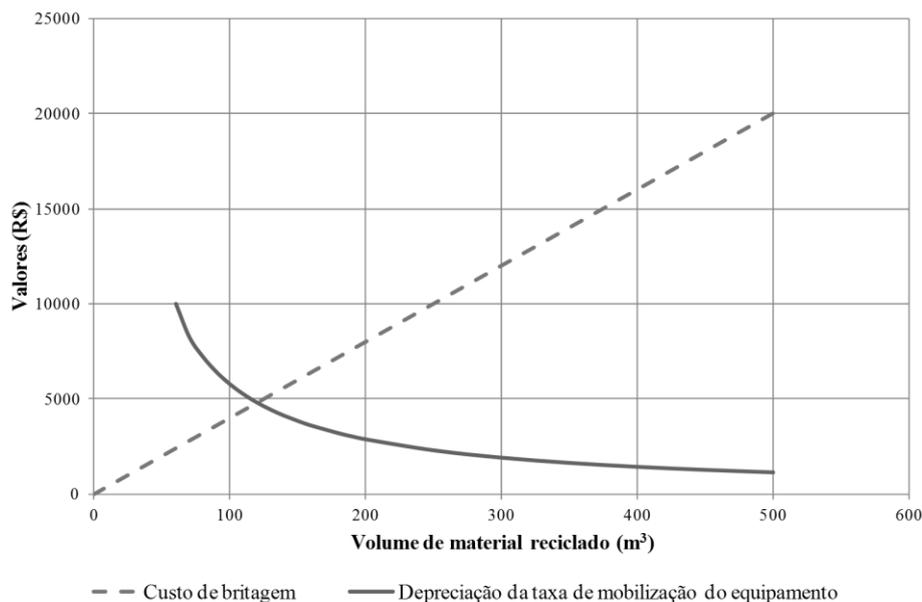


Figura 4. Depreciação da taxa de mobilização e custo de britagem do resíduo.

Fonte: Os Autores

Observando-se em conjunto as Figuras 3 e 4 percebe-se que até um volume de britagem referente a  $120\text{m}^3$  de resíduo, o valor da taxa de mobilização do equipamento por metro cúbico de resíduo manteve-se superior ao custo de reciclagem dos resíduos, sendo necessário para se produzir este volume um tempo próximo a 2 horas. A Figura 5 apresenta a comparação entre os custos de ambas as soluções. Ressalta-se que no cálculo da curva referente a solução de aquisição de material natural, considerou-se também o custo do transporte e deposição do volume total de resíduos produzidos durante a demolição, ou seja,  $510\text{m}^3$ . Para o cálculo da curva referente a alternativa de reciclagem e utilização “in loco” dos resíduos, considerou-se o transporte e deposição do volume resultante da diferença entre o volume produzido pelas operações de demolição ( $510\text{m}^3$ ) e o necessário para a execução da base do contrapiso ( $500\text{m}^3$ ).

Por meio da Figura 5 pode-se observar que até um volume de material necessário para a execução da base equivalente a  $75\text{m}^3$ , a solução mais interessante economicamente consistiu na utilização de material natural e transporte e deposição do volume total de resíduo para aterro licenciado. Contudo, a partir deste valor, pode-se perceber que a reciclagem dos resíduos “in loco” e utilização destes na execução da base do contrapiso apresentou-se mais interessante economicamente. Ressalta-se também que a curva referente a reciclagem e utilização do resíduo “in loco” apresentou tendência de redução em função do aumento do volume de material a ser reciclado e utilizado. Tal fato está correlacionado com os custos de transporte dos resíduos de demolição, na produtividade da recicladora e na depreciação da taxa de mobilização do equipamento. Deve-se salientar que na alternativa referente a reciclagem e utilização dos resíduos “in loco”, somente o volume de resíduos não aproveitados na execução da base do contrapiso é que foram transportados para o aterro licenciado ou seja, quanto maior o volume de material reciclado em obra, menor o volume necessário de transporte e deposição em aterro. Considerando-se o volume total de material necessário para a execução da base do contrapiso em estudo, verifica-se por meio da Figura 5, que a solução de reciclagem e utilização dos resíduos “in loco” conduziu a um custo total 64% inferior ao custo total calculado considerando-se o transporte e deposição total dos resíduos gerados e aquisição de material natural.

## 5. CONCLUSÕES

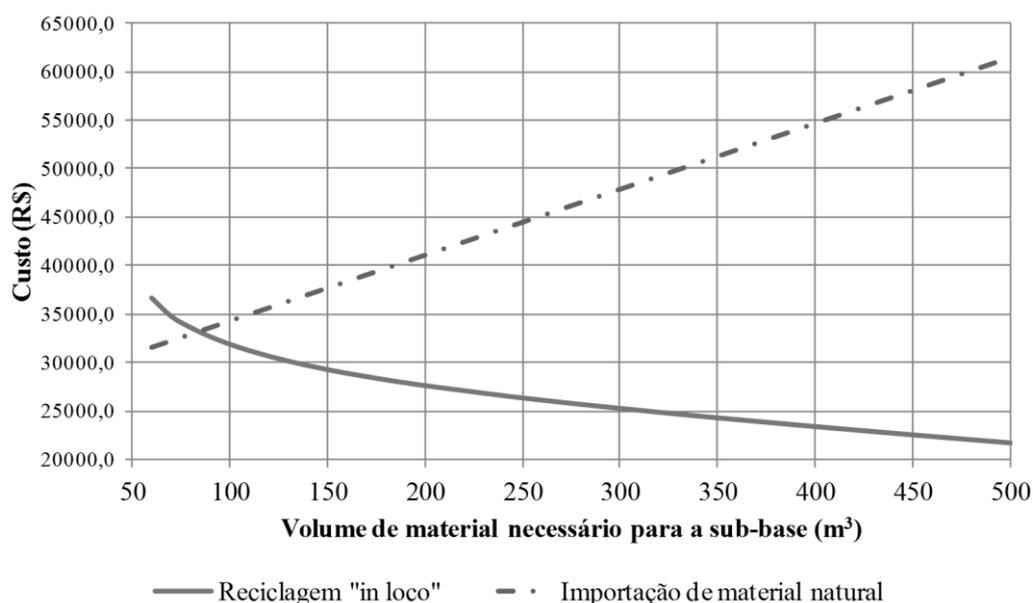


Figura 5 - Comparação entre os custos das soluções de reciclagem "in loco" e aquisição de material reciclado para execução da base do pavimento.

Fonte: Os Autores

O setor da construção civil consiste em um grande gerador de resíduos sólidos quando comparado aos demais setores produtivos. Os resíduos de construção civil gerados compõem grandes percentuais na massa de resíduos sólidos urbanos (RSU) em diversos municípios brasileiros. Este fato pode ser atribuído à grande expansão deste ramo da economia, à necessidade constante de matéria prima, ao grande desperdício durante as obras e à falta de políticas públicas e objetivas que considerem esta situação como um problema a ser resolvido. Dessa maneira, este trabalho ressalta a importância da adoção, por parte do setor da construção civil, de ferramentas de manejo sustentáveis, prevendo a destinação apropriada dos resíduos produzidos em obra. A reutilização de resíduos gerados pela construção civil consiste em uma importante ação de sustentabilidade, uma vez que a geração de subprodutos, originados por esta logística, permite a utilização racional dos insumos de construção, possibilitando menor impacto no meio ambiente.

Na obra em questão pôde-se verificar que os resíduos produzidos pelas operações de demolição da estrutura anterior puderam ser classificados como Classe A segundo a resolução no307/2002 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), ou seja, resíduos cimentícios em geral. Em relação à prática de manejo dos resíduos adotada na obra em estudo, constatou-se que a reciclagem "in loco" apresentou significativa vantagem econômica em relação a opção de utilização de material natural para composição da base do contrapiso e transporte total dos resíduos gerados pela demolição. Por meio dos estudos conduzidos pôde-se concluir que a utilização dos resíduos reciclados conduziu a um custo 64% inferior à utilização do material natural, uma vez que possibilitou a redução dos custos com aquisição de material natural e transporte.

No entanto, deve-se destacar que a reciclagem "in loco" dos resíduos, por meio do equipamento de reciclagem considerado, somente demonstrou ser interessante a partir de um determinado volume necessário de produção de material reciclado, que, no caso da obra em estudo, situou-se em 75m<sup>3</sup>. Abaixo deste volume mínimo seria preferível a adoção da solução de aquisição de material natural e destinação total dos resíduos de demolição ao aterro licenciado. Também se pôde constatar que a instalação de uma máquina recicladora "in loco", considerando-se a produtividade de 100 toneladas/hora de reciclagem de resíduos, somente foi interessante economicamente a partir de um volume mínimo de resíduos referente a 120m<sup>3</sup>, ou seja, abaixo deste volume a taxa de mobilização poderia inviabilizar a utilização da recicladora, uma vez que a taxa de mobilização manteve-se superior ao

custo da reciclagem, sendo necessário um tempo mínimo de 2 horas de serviço. Dessa forma, antes da utilização da recicladora “in loco” deve-se realizar um estudo prévio no intuito de se verificar se a obra a ser executada fornecerá volumes de resíduos suficientes a serem reciclados e reutilizados no local de maneira a tornar viável economicamente a sua utilização. Também se pode observar que a produtividade do equipamento influenciou de maneira significativa nas análises efetuadas, ou seja, quanto maior este valor, menor será o tempo necessário para se atingir volumes de resíduos que justifiquem economicamente a reciclagem e utilização do resíduo em campo.

Contudo, deve-se destacar que antes de se proceder a qualquer substituição de material natural convencional por material reciclado, mesmo que de mesma granulometria, deve-se verificar antes a viabilidade técnica deste por meio de consulta às normas técnicas pertinentes.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, São Paulo, Brasil, 116p, 2012.

AMADEI, D. I. B.; PEREIRA, J.A.; SOUZA, R.A.; MENEGUETTI, K. S. A questão dos resíduos de construção civil: Um breve estado da arte. Revista NUPEM, Campo Mourão, v. 3, n. 5, p. 185-199, ago. / dez. 2011.

ANGULO, S. C.; TEIXEIRA, C. E.; CASTRO, A. L.; NOGUEIRA, T.P. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.16, n. 3, pp. 299-306. 2011.

ÂNGULO, S.C.; JOHN, V. M.; ULSEN, C.; KAHN, H.; MUELLER, A. Separação óptica do material cerâmico dos agregados mistos de resíduos de construção e demolição. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.13, n. 2, p. 61-73, abr. / jun. 2013.

ARAUJO, J. M.; GUNTHER, W. M. R. Caçambas coletoras de resíduos da construção e demolição no contexto do mobiliário urbano: uma questão de saúde pública. Revista Saúde e Sociedade. São Paulo, v. 16, n. 1, p.145-154, jan. / abr. 2007.

ARIF, M.; BENDI, B; TOMA-SABBAGH, T. Construction waste management in India: an exploratory study. Construction Innovation, v. 12, n. 2, p. 133-155, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G F.; BARATA, M. S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e demolição como agregado. Revista Exacta, 5 (2), pp. 223-230. 2007.

BANIAS G.; ACHILLAS, C.H.; VLACHOKOSTAS, N.; PAPAIOANNOU, I. A web-based decision support system for the optimal management of construction and demolition waste. Waste Management, v.31, n. 12, p. 2497-2502, 2011.

BERNARDES, A.; THOMÉ, A.; PRIETTO, P. D. M.; ABREU, A. G. Quantificação e classificação dos resíduos da construção e demolição coletados no município de Passo Fundo, RS. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 65-76, jul. /out. 2008.

BOHNE, R.; BRATTEBE, H.; BERGSDAL, H. Dynamic eco-efficient projections for construction and demolition waste recycling strategies at the city level. Journal of Industrial Ecology. V. 12, n. 1, p. 52- 60, 2009.

CARMO, D. S.; MAIA, N. S.; CÉSAR, C. G. Avaliação da tipologia dos resíduos de construção civil entre-

gues nas usinas de beneficiamento de Belo Horizonte. Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v. 17, n. 2, p. 187-192, 2012.

COELHO, A.; BRITO, J. Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. Waste Management, v.32, n. 3, p. 532-541, 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA): Resolução nº. 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 de julho de 2002. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/-index.cfm>

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº. 431, de 25 de maio de 2011. Altera o art. 3o da Resolução no 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/-index.cfm>.

COSTA, W. V. G.; OLIVEIRA, E. A. Estudos e análises dos impactos da segregação de resíduos sólidos de obras em Belo Horizonte. Revista Construindo, Belo Horizonte, v. 3, n. 1, p. 30-36, jan. / jun. 2011.

EVANGELISTA, P. P. A.; COSTA, D. B.; ZANTA, V. M. Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: sistemática para reciclagem em canteiros de obras. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 23-40, jul. / set. 2010.

FAGURY, S. C.; GRANDE, F. M. Gestão de resíduos de construção e demolição (RCD) – aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP. Revista Exacta, v. 5, n. 1, p. 35-45, jan. / jun. 2007.

FERRAZ, A. L.; SEGANTINI, A. A. Engenharia Sustentável: Aproveitamento de resíduos de. Anais do 5th Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas. 2004.

HWANG, B. G.; YEO, Z. B. Perception on benefits of construction waste management in the Singapore construction industry. Engineering, Construction and Architectural Management, v. 18, n. 4, p. 394-406, 2011.

IBRAHIM, A. R. B.; ROY, M. H.; AHMED, Z. U.; IMTIAZ, G. Analyzing the dynamics of the global construction industry: past, presente and future. Benchmarking: An International Journal, v. 17, n. 2, p. 232-252, 2010.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção civil. In: Seminário – Reciclagem de resíduos sólidos domiciliares. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo, 2000. 13p.

KRALJ, D. Innovative systemic approach for promoting sustainable innovation for zero construction waste. Kybernetes, v. 40, n1/2, p. 275-289, 2011.

LIMA, A. S.; CABRAL, A. E. B. Caracterização e classificação dos resíduos de construção civil da cidade de Fortaleza (CE). Revista Engenharia Sanitária Ambiental, v. 18, n. 2, p. 169-176, 2013.

LU, W.; YUAN, V.W.Y. Construction waste management policies and their effectiveness in Hong Kong: A longitudinal review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 23, n. 16, p. 214-223, 2011.

MÁLIA, M.; BRITO, J.; BRAVO, M. Indicadores de Resíduos de Construção e Demolição para Construções Residenciais Novas. Revista Ambiente Construído, v. 11, n. 3, p. 117-130, jul. / set. 2011.

MARINHO, J. L. A.; SILVA, J. D. Gerenciamento dos resíduos da construção e demolição: diretrizes para o crescimento sustentável da construção civil na região metropolitana do Cariri cearense. Revista E-tech: Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, v. 5, n. 1, p. 102-119, 2012.

MARQUES NETO, J. C.; SCHALCH, V. Gestão dos resíduos de construção e demolição: Estudo da situação no município de São Carlos-SP, Brasil. *Revista Engenharia Civil da Universidade do Minho*, n. 36, p. 41-50, 2010.

MELO, A. B.; GONÇALVES, A. F.; MARTINS, I. M. Construction and demolition waste generation and management in Lisbon (Portugal). *Resources, Conservation and Recycling*, v. 15 n.55, pp. 1252– 1264, 2011.

MOTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. Sustentabilidade e processos de Projetos de Edificações. *Revista Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 4, n. 1, p. 84-119, maio de 2009.

NARASIMHAM, V. L. Issues with fly-ash and infrastructure waste. *Society and Business Review*, v. 6, n. 2, p. 157-167, 2011.

NUNES, K. R. A; MAHLER, C. F.; VALLE, R.; GLAVÃO, T. C. Market analyse and demand estimate of construction and demolition waste: the case study of the municipality of Rio de Janeiro. IN: International Conference “Waste Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development”, aug. 2007.

NUNES, K.; MAHLER, C.; VALLE, R. Reverse logistics in the Brazilian construction industry. *Journal of Environmental Management* (90), p 3717–3720. 2009.

OYEDETE, L. O.; REGAN, M.; MEDING, J.; AHMED, A.; OBAS, J.; ELNOKALY, A. Reducting waste to landfill in the UK: identifying impediments and critical solutions. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, v. 10, n. 2, p. 131-142, 2013.

PASCHOALIN FILHO, J. A.; GUERNER DIAS, A. J.; CORTES, P. L. DUARTE, E. B. L. Manejo de resíduos de demolição gerados durante as obras da arena de futebol Palestra Itália (Allianz Parque) localizada na cidade de São Paulo/Brasil. *Revista Holos*, v.6, n.3, p.73-91. 2013.

PASCHOALIN FILHO, J.A.; GRAUDENZ, G. S. Destinação irregular de resíduos de construção e demolição (RCD) e seus impactos na saúde coletiva. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v.6, n.1, p 127-142, 2012.

PEGORARO, C.; SAURIN, T. A.; PAULA, I. C. Proposta de um Procedimento para Identificação e Análise de Requisitos Ambientais no Processo de Projeto da Construção Civil: Um Estudo de Caso. *Revista Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 5, n. 1, p. 79-108. 2010.

RICCI, G. Estudo das características mecânicas do concreto compactado com rolo com agregados reciclados de construção e demolição para pavimentação. *Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo. 2007.*

SANTOS, E. C. Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado. *Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia, São Carlos. 2007.*

SANTIN, O. G. Environmental assessment of construction trends in Mexico: towards sustainable building? *Structural Survey*, v. 27, n. 5, p.361-371, 2009.

SEGANTINI, A. A. S.; WADA, P. H. Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição. *Acta Scientiarum Technology*, V.33, n.2, p.179-183, 2011.

SHNEIDER, D.M. Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo. 2003. 131p *Dissertação (mestrado). Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.*

SILVA, V. A.; FERNANDES, A. L. T. Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. *Revista Sociedade & Natureza*, ano 24, n. 2, p. 333-344, mai. / ago. 2012.

- SILVA, W. M.; FERREIRA, R. C.; SOUZA, L. O.; SILVA, A. M. Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição e sua utilização como base, sub-base e mistura betuminosa em pavimento urbano em Goiânia-GO. *Revista Brasileira de Ciência Ambientais*, n. 15, p. 1-9, mar. 2010.
- SOUZA, M. I. B.; SEGANTINI, A. A. S.; PEREIRA, J. A. Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.2, 2008.
- TAM, V. W. Y. Comparing the implementation of concrete recycling in the Australian and Japanese construction industries. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 2, p. 688-702, 2009.
- TAM V. W.Y.; SHEN, L. Y.; FUNG, I. W. H.; WANG, J. Y. Controlling construction waste by implementing governmental ordinances in Hong Kong. *Construction Innovation*, v. 7, n. 2, p. 149-166, 2007.
- TESSARO, A. B.; SÁ, J. S.; SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. *Revista Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 121-130, abr. / jun. 2012.
- ULSEN, C.; KAHN, H.; ÂNGULO, S. C.; JOHN, V. M. Chemical composition of mixed construction and demolition recycled aggregates from the State of São Paulo. *Revista de Escola de Minas*, v.63, n.2, p.339-346, 2010.
- ULSEN, C.; KAHN, H.; HAWLITSCHKE, G.; MASINI, E. A.; ANGULO, S. C. Separability studies of construction and demolition waste recycled sand. *Waste Management*, v.33, n. 3, p. 656-662, 2013.
- VARELA, J. J. Desenvolvimento de um novo conceito de plantas de lavagem e classificação para reciclagem de material contaminado. *REM: Revista. Escola de Minas, Ouro Preto*, v. 63, n.3, p. 591-596, jul. / set. 2010.
- VIEIRA, G. L.; MOLIN, D. C. Viabilidade técnica da utilização de concretos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. *Revista Ambiente Construído*, n.4, v4, p 47-63. 2004.
- YUAN, H. A model for evaluating the social performance of construction waste management. *Waste Management*, v. 32, n. 6, p. 1218-1228, 2012.
- YUAN, H. P.; SHEN, L. Y.; HAO, J. J. L.; LU, W. S. A model for cost-benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, n. 6, p. 604-612, 2011.
- YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management*, v. 31, n.4, p.670-679, 2011.
- YATES, J. K. Sustainable methods for waste minimization in construction. *Construction Innovation*, v. 13, n. 3, p. 281-301, 2013.