

# Gerenciamento dos Resíduos de Demolição Gerados nas Obras de um Edifício Localizado na Zona Leste da Cidade de São Paulo/SP

João Alexandre Paschoalin Filho<sup>1</sup>

João Henrique Storopoli<sup>2</sup>

Antônio José Guerner Dias<sup>3</sup>

Eric Brum de Lima Duarte<sup>4</sup>

## Resumo

Com o crescimento da construção civil, a geração de resíduos provenientes deste setor passou a consistir em um importante problema a ser sanado. Formas de reaproveitamento destes resíduos e o desenvolvimento de modelos de gestão, têm sido a tônica de diversos trabalhos apresentados ao meio técnico no intuito de se mitigar os efeitos causados pelo impacto da construção civil no meio ambiente, tanto natural quanto urbano. A ausência de políticas públicas objetivas que considerem como problema real a geração, manuseio e deposição destes resíduos, contudo, ainda constituem-se como importantes empecilhos na adoção de práticas de sustentabilidade. Este trabalho apresenta o estudo da viabilidade econômica do reuso de resíduos de demolição na construção do contrapiso do subsolo de um edifício localizado na zona Leste da cidade de São Paulo. Por meio dos estudos conduzidos, pôde-se concluir que a reutilização “in loco” dos resíduos gerados na obra conduziu a vantagens econômicas significativas, uma vez que foram reduzidos os custos de transporte, necessário para a disposição final destes, e custos de aquisição de matérias-primas naturais.

**Palavras-chaves:** Resíduos de construção civil. Gerenciamento de resíduos sólidos. Sustentabilidade.

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Professor do Programa de Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade da Universidade Nove de Julho (Uninove) de São Paulo. jalexandre@uninove.br

<sup>2</sup> Engenheiro civil pela Universidade Nove de Julho (Uninove).

<sup>3</sup> Professor doutor da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto/Portugal. agdias@fc.up.pt

<sup>4</sup> Engenheiro civil, mestre em Gestão Ambiental e Sustentabilidade pela Universidade Nove de Julho (Uninove). ericbrum@uol.com.br

# MANAGEMENT OF DEMOLITION WASTES IN THE CONSTRUCTION WORK OF A BUILDING LOCALIZED ON THE EAST SIDE OF THE CITY OF SÃO PAULO/SP

## Abstract

---

Due to civil construction industry improvement, the generation of solid wastes from this economic sector consists in an important problem to be solved. Different procedures aiming the reuse of these wastes and the development of management tools have been presented in several papers in order to mitigate the effects caused by construction works environmental impacts. However, the absence of effective public policies, that consider the generation, handling and disposal of these wastes as a real problem to be solved, consists in an obstacle to sustainability practices adoption. This paper presents the reuse of demolition solid wastes in the construction of the basement floor of a building located on the east side of the city of São Paulo. Considering the obtained parameters it can be concluded that reuse "in situ" of the generated wastes by demolition works resulted in significant economic advantages, once the transportation costs required for final disposition of these wastes and costs of acquisition of raw natural materials were both reduced.

**Keywords:** Construction wastes. Solid waste management. Sustainability.

Apesar de a construção civil ser considerada um dos setores produtivos que mais impactos causa 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).

Em virtude dos grandes volumes gerados, os Resíduos de Construção Civil (RCCs) 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 reciclagem de resíduos de construção e demolição em novas obras ajuda a resolver o problema da destinação desses materiais. Ressalta-se que uma considerável parte dos resíduos gerados por pequenas obras é, muitas vezes, depositada em áreas irregulares e, mesmo as grandes obras, que promovem a destinação de seus resíduos de forma correta, também encontram dificuldades em identificar áreas devidamente preparadas e legalizadas para depositá-los. Assim, a adoção de práticas executivas e gerenciais que visem à sintonia das operações deste setor com a sustentabilidade, consiste em um importante paradigma a ser discutido pelo meio técnico, uma vez que proporciona a redução da pegada ambiental causada pelo setor e dos custos executivos (principalmente em relação ao transporte e deposição de resíduos e importação de matéria-prima) e colabora na solidificação de uma boa imagem das empresas envolvidas junto ao mercado consumidor e *stakeholders*.

Diante deste contexto, pretende-se, com esta pesquisa, apresentar um estudo de caso a respeito do manejo dos resíduos gerados durante as obras de execução de um edifício localizado na zona Leste da cidade de São Paulo, onde foram efetivadas ações de reciclagem dos resíduos produzidos pelas obras de demolição da antiga estrutura do edifício na execução da base do contrapiso de concreto do terceiro subsolo. Notou-se que a reciclagem dos resíduos conduziu a ganhos econômicos significativos, uma vez que foram

reduzidos os custos de transporte necessários para a deposição dos resíduos de demolição, além dos custos de aquisição de matéria-prima natural necessária para a execução da base do piso.

## **Revisão Bibliográfica**

### ***A indústria da construção civil e a geração de resíduos***

Desde o início do século 21, o Brasil vem apresentando uma economia em crescimento, trazendo consigo um aumento significativo nas atividades da construção civil. Mesmo tendendo a um crescimento modesto para o ano de 2014, o setor da construção civil ainda apresenta resultados positivos em razão das demandas originadas por programas governamentais de estímulo ao setor, tais como: Minha Casa Minha Vida (MCMV), Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e ampliação das linhas de crédito e financiamento imobiliário, os quais têm atenuado a desaceleração deste setor. De acordo com Ibrahim et al. (2010), a indústria da construção civil consiste em uma peça-chave na economia de um país, ou seja, para que haja crescimento e desenvolvimento é necessária a construção de uma infraestrutura adequada para estimular a economia. Silva et al. (2010) complementam destacando que os benefícios gerados na construção civil são indiscutíveis, possuindo um importante papel no progresso e desenvolvimento da humanidade. Seus impactos ambientais negativos, contudo, são proporcionais as suas realizações.

Apesar de sua importância para o desenvolvimento do país, o setor da construção civil também 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 neste setor 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) lembram que a construção civil consome cerca de 50% de todos os recursos naturais disponíveis, além de gerar um volume elevado de resíduos, ou seja, em torno de 40 a 60% dos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos diariamente nas cidades têm origem no setor da construção civil. Bohne, Brattebe e Bergsdal (2009) complementam afirmando que os impactos causados pelos RCCs não se restringem somente à 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 na Tabela 1 a seguir.

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

Tipos de impactos	Araujo; Gunther (2007)	Mota; Aguilar (2009)	Pegoraro; Saurin; Paula (2010)	Ângulo et al. (2011)	Yuan et al. (2011)	Banias et al. (2011)	Coelho; Brito (2011)	Ulsen et al. (2013)
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 disposições irregulares		x						
Áreas degradadas	x	x		x		x	x	
Transporte intensivo						x	x	x
Saúde coletiva	x	x		x				

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Araujo; Gunther (2007), Mota; Aguilar (2009); Pegoraro; Saurin; Paula (2010); Ângulo et al. (2011); Yuan et al. (2011a); Banias et al. (2011); Coelho; Brito (2011); Ulsen et al. (2013).

John e Agopyan (2000) comentam que a quantidade de resíduos de construção e demolição 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 (Associação..., 2012) a quantidade *per capita* no Brasil de resíduos de construção e demolição coletada, com-

parando-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 e demolição *per capita*, aproximadamente 0,966 kg/hab/dia. Dentre as regiões prospectadas, a Norte apresentou o menor índice de coleta, ou seja, apenas 0,330 kg/hab/dia. No município de São Paulo, a Prefeitura contabilizou, no ano de 2000, a partir dos dados obtidos por John e Agopyan (2000), aproximadamente 280 kg/hab/ano. Schneider (2003) contabilizou cerca 499 kg/hab/ano. Para o Brasil, as estimativas de John e Agopyan (2000) variaram entre 230 kg/hab/ano até 760 kg/hab/ano, resultando em um valor médio de 510 kg/hab/ano. Na Tabela 2 são apresentadas estimativas de geração diária de RCC em diversas localidades brasileiras.

Tabela 2 – Estimativa de geração de resíduo de construção e demolição (RCC) em algumas cidades brasileiras

Cidade/Estado (Ano)	Total RCC (t/dia)	Taxa <i>per capita</i> (kg/hab/ano)	Autores
São Carlos/SP (2007)	101	170	Fagury; 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; Oliveira (2011)
Salvador/BA (2009)	2300	310	Evangelista; Costa; Zanta (2010)
Goiânia/GO (2009)	1500	420	Silva <i>et al.</i> (2010)
Pelotas/RS (2012)	404	120	Tessaro; Sá; Scremin (2012)
Juazeiro do Norte/CE (2012)	100	120	Marinho; Silva (2012)

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Fagury; Grande (2007); Nunes et al. (2007); Bernardes et al. (2008); Costa; Oliveira (2011); Evangelista; Costa; Zanta (2010); Silva et al. (2010), Tessaro; Sá; Scremin (2012), Marinho; Silva (2012).

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. Para 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; reciclagem e reutilização dos materiais no canteiro. Diante dessa problemática, diversos autores, nacionais e internacionais, têm se dedicado a estudar e caracterizar os principais componentes da massa de RCC. As Tabelas 3 e 4 apresentam a composição do RCC em algumas localidades brasileiras e internacionais respectivamente.

Tabela 3 – Composição do RCC em algumas localidades brasileiras

Material	Marques Neto e Schalch (2010)	Silva <i>et al.</i> (2010)	Carmo; Maia; César (2012)	Tessaro; Sá; Scremin (2012)	Lima; Cabral (2013)
	São Carlos, SP	Goiânia, GO	Belo Hori- zonte, 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 a partir de Marques Neto; Schalch (2010); Silva et al. (2010); Carmo; Maia; César (2012); Tessaro; Sá; Scremin (2012) e Lima; Cabral (2013).

Tabela 4 – Composição do RCC em algumas localidades internacionais

Material	Bohne; Brattebe; Bergsdal (2009)	Hu; Voet; H u p p e s (2010)	Lage <i>et al.</i> (2010)	Al-Hajj; Ha- mani (2011)	Katz e Baum (2011)
	Trondheim, Noruega	P e q u i m , China	Galícia, Es- panha	Dubai, Emirados Ára- bes Unidos	Haifa, Israel
Argamassas, Concretos e Blocos	80%	8,0%	29,3%	11,1%	24% a 48%
Cerâmica	-	-	44,5%	18,7%	-
Solo	-	88,1%	-	-	-
Gesso	5%	-	3,6%	-	-
Madeira	8%	-	5,4%	13,9%	-
Metais	5%	-	8,8%	3,9%	10% a 20%
Papel	1%	-	3,4%	-	5% a 54%
Plásticos	1%	-	3,9%	17,7%	-
Outros	-	3,9%	1,1%	16,3%	18% a 80%

Fonte: Adaptado pelos autores a partir de Bohne; Brattebe; Bergsdal (2009), Hu; Voet; Huppess (2010); Lage et al. (2010); Al-Hajj; Hamani (2011) e Katz; Baum (2011).

Os parâmetros apresentados nas Tabelas 3 e 4 revelam que as massas de RCC são compostas 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, Brito e Bravo (2011) comentam que os valores representados nas Tabelas 3 e 4 indicam a ocorrência, na composição do RCC, de materiais com alto valor econômico e grande potencial de reinserção na cadeia produtiva da construção civil. Estes, no entanto, continuam sendo descartados diariamente em diversas localidades.

## Aspectos normativos a respeito dos resíduos de construção civil

De acordo com a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) de 5 de julho de 2002, os resíduos de construção e demolição recebem a seguinte denominação:

Resíduos da construção civil: são os provenientes de construções, reformas, reparo de demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (Conselho..., 2002a)”.

Ainda, segundo a resolução Conama nº 307/2002, os resíduos de construção e demolição 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. O Quadro 1 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, mudando a classificação do Gesso de Classe C para Classe B, bem como as formas corretas de destinação destes recomendada pela resolução Conama nº 307/2002.

Quadro 1 – Classificação e destinação dos resíduos de construção de acordo as resoluções Conama nº 431/2011 e nº 307/2002

Classe	Origem	Tipo de resíduo	Destinação
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).	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	Resíduos recicláveis com outras destinações.	Plásticos, gesso, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e outros.	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	Resíduos para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Não especificado pela resolução.	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
Classe D	Resíduos perigosos oriundos de processo de construção.	Tintas, solventes, óleos, amianto.	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
	Aqueles contaminados, oriundos de demolições, reforma e reparo, enquadrados como classe I na NBR10004.	Clínicas radiológicas, instalações industriais e outros.	

Fonte: Conselho..., 2002a; Conselho..., 2002b

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 que vinham de encontro às questões ambientais e o desenvolvimento sustentável em discussão desde a sua primeira publicação. Além da NBR 10.004, a ABNT também publicou as seguintes normas técnicas: NBR 15112/2004 (*resíduos da construção civil e resíduos volumosos – áreas de transbordo e triagem – diretrizes para projeto, implantação e operação*), NBR 15113/2004 (*resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – aterros – diretrizes para projeto, implantação e operação*), NBR 15114/2004 (*resíduos sólidos da construção civil – áreas de reciclagem – diretrizes para projeto, implantação e operação*), NBR 15115/2004 (*agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – execução de camadas*

*de pavimentação – procedimentos*) e NBR 15116 (*agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – requisitos*).

Posteriormente, no ano de 2010, a problemática dos resíduos de construção e demolição 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.

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 os itens II a IV do artigo 6º da resolução Conama nº 307/2002, deve ser de responsabilidade do município a disponibilização de áreas adequadas para destinação dos resíduos de construção e demolição, além de ações de fiscalização quanto à deposição inadequada destes resíduos. O que ocorre muitas vezes, entretanto, é que grandes volumes de entulho são depositados diariamente em locais não adequados em diversos municípios brasileiros, configurando-se esta situação em cena comum na rotina dos cidadãos. Ressalta-se que a prática de deposição destes resíduos em tais áreas, além de imprópria, é ilegal. Segundo Paschoalin Filho e Graudenz (2012), os resíduos de construção dispostos irregularmente poluem o solo, degradam paisagens e constituem uma grave ameaça à saúde coletiva. O acúmulo destes resíduos torna-se nicho ecológico de diversas espécies de agentes patogênicos, tais como roedores, baratas,

moscas, vermes, pernilongos, fungos, vírus, animais entre outros. Estes vetores biológicos podem ser responsáveis pela transmissão de doenças respiratórias, epidérmicas, viroses, intestinais, etc.

Os resíduos provenientes das atividades de demolição e construção, em virtude 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 caçambas. 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 à 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).

## **Reciclagem e reuso de resíduos de construção civil**

O tratamento dos RCCs 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 em novas obras ajuda a resolver o problema da destinação destes 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 (Yuan, 2012). De uma forma geral, a reciclagem dos resíduos de construção e demolição 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,

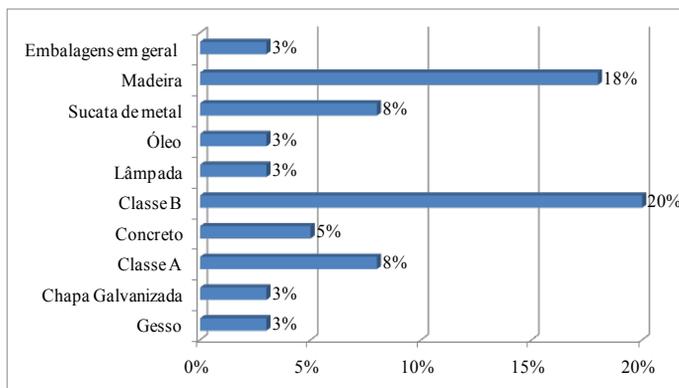
Bendi e Toma-Sabbagh (2012); Oyedete et al. (2013); Yates (2013); Paschoalin Filho et al. (2013), entre outros. Assim, é consenso entre os diversos autores citados os seguintes benefícios em relação à reciclagem dos RCCs: redução no consumo de recursos naturais não renováveis; redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem; redução do consumo de energia durante o processo de produção; redução 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; geração de emprego e renda e melhoria no âmbito social com uma nova e ampla cadeia produtiva no mercado de trabalho

A construção civil consiste em um dos setores produtivos que mais aproveita os seus resíduos transformando-os em subprodutos (Paschoalin Filho, Graudenz, 2012). Segundo Souza, Segantini e Pereira (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.

No ano de 2012 o Sindicato da Construção Civil do Estado de São Paulo (Sinduscon/SP) publicou os resultados de um estudo realizado em suas filiais por todo o Estado de São Paulo, totalizando 348 municípios. Tal estudo teve por objetivo verificar a situação dos municípios e das obras civis

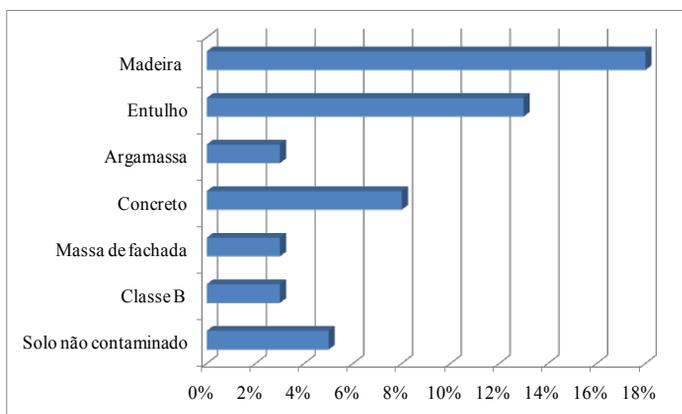
em relação ao manejo e gerenciamento dos resíduos de construção. As Figuras 1 e 2 apresentam a porcentagem de empresas que declararam separar e reutilizar os resíduos de construção por tipologia de resíduos em suas obras.

Figura 1 – Porcentagem de empresas consultadas que reciclam os resíduos em suas obras



Fonte: Sindicato..., 2012.

Figura 2 – Porcentagem de empresas consultadas que reutilizam resíduos em suas obras



Fonte: Sindicato..., 2012.

Observando-se as Figuras 1 e 2 nota-se que uma significativa porção das empresas consultadas reciclam e reutilizam em suas obras a madeira e o concreto. Ressalta-se que ambos foram analisados à parte, dada a grande representatividade destes nos resultados obtidos. O Sinduscon/SP (2012) também levantou quais os resíduos de construção que nas empresas prospectadas sofriam as maiores dificuldades de manejo e reuso. Dentre vários relatos destacaram-se como os mais citados pelas empresas: o gesso (40%), os resíduos Classe D (10%), as latas de tinta (8%) e os resíduos químicos (5%).

Embora alguns municípios tenham problemas com a gestão dos resíduos de construção, estes se constituem em uma boa oportunidade de negócio (Melo; Gonçalves; Martins, 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). Os RCCs, entretanto, ainda são vistos pela sociedade como lixo, que apenas geram despesas e aumentam o custo final das obras. Este “lixo”, no entanto, tem ganhado valor no mercado e, o que antes era um estorvo, atualmente está se tornando “moeda” de negociação no setor construtivo (Silva; Fernandes, 2012). Além do mais, formas de reuso e reciclagem de resíduos de construção e demolição vêm sendo estudadas em diversos trabalhos apresentados no meio técnico e científico. Dentre estes destacam-se: Agregados para concreto (Vieira; Molin, 2004), Produção de argamassa (Assunção; Carvalho; Barata, 2007; Duarte, 2013), Obras de drenagem (Nunes; Mahler; Valle, 2009), Tijolos (Ferraz; Segantini, 2004), entre outros.

A reciclagem dos RCCs, seja como agregados para produção de materiais cimentícios, seja em obras de terraplenagem e de drenagem e em recuperação topográfica, 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 simples-

mente 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.

## **Método de Pesquisa**

Tendo em vista a necessidade do manejo sustentável dos resíduos gerados pelas operações de demolição da antiga estrutura do edifício e execução da base do novo contrapiso, foram analisadas as seguintes soluções de manejo e destinação dos RCCs no intuito de se verificar a melhor ferramenta de gestão a ser empregada: a) descarte total dos resíduos gerados pela demolição e posterior aquisição de material granular natural em volume suficiente para composição da base do contrapiso; b) descarte total dos resíduos gerados e aquisição de material reciclado por usinas em volumes suficiente para se atender a obra; c) reciclagem dos resíduos de demolição “in loco” por meio de equipamento móvel de britagem e utilização total do agregado reciclado produzido na obra da base do contrapiso.

## ***Caracterização da pesquisa***

Este trabalho pode ser caracterizado de acordo com Yin (2010) como um estudo de caso. Segundo o autor, o estudo de caso poderá ser baseado em seis fontes potenciais de informação, sendo estas: documentos, registros, entrevistas, observação direta, observação de participante e artefatos físicos. No presente estudo, as fontes de informação utilizadas foram as seguintes:

- Documentos e registros da obra: foi usado o Projeto de Gerenciamento de Resíduos de Sólidos (PGRS) da obra em estudo, obrigatório de acordo com a Resolução Conama nº 307/2002, no qual foram obtidas informações relevantes referentes às seguintes etapas previstas de manejo dos RCCs: i) caracterização e quantificação; ii) triagem; iii) formas de acondicionamento; iv) formas de remoção de acordo com as normas técnicas vigentes; e v) destinação de acordo com o estabelecido pela Resolução nº 307/2002 do Conama. Também foram empregados os seguintes registros diários elaborados em obra: i) planilhas de Controle de Transporte de Resíduos (CTR); e ii) planilhas elaboradas para fins de controle e medição dos serviços de demolição executados dentro da obra e movimentação dos resíduos.
- Pesquisas de preços junto a empresas transportadoras: para a realização do estudo econômico das operações de transporte e destinação dos resíduos produzidos foram levantados custos de destinação destes junto a empresas transportadoras próximas ao local da obra, considerando-se fatores como: taxas de deposição dos resíduos em aterros licenciados, homogeneidade dos resíduos produzidos e destinação final destes. Como critério de seleção das empresas transportadoras foram verificadas as conformidades destas com os seguintes itens: i) cadastro atualizado junto ao órgão municipal da cidade de São Paulo, ou seja, a Autoridade Municipal de Limpeza Urbana da cidade de São Paulo (Amlurb); ii) 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.
- Pesquisa de preços junto a jazidas e usinas de reciclagem de entulho para fornecimento de agregado: foram levantados os custos de aquisição de brita#2 natural e agregado reciclado (de

mesma granulometria) necessários para a execução da base do contrapiso de concreto do terceiro subsolo. Estes custos foram pesquisados em três jazidas de material natural e em três usinas de reciclagem de entulho (URE).

- Pesquisa de preços junto a empresas locadoras de equipamento de reciclagem: No intuito de se verificar a viabilidade de reciclagem dos resíduos gerados na própria obra, foi realizada uma cotação de preços de locação e mobilização de equipamento reciclador mecanizado com capacidade para cem toneladas/dia, junto a três empresas fornecedoras localizadas na região de São Paulo.
- Observação direta: resultante da participação de um dos autores na gestão dos resíduos da obra estudada.

Além das fontes de informação já citadas, esta pesquisa também pode ser caracterizada com um estudo de caso, posto que um objeto de pesquisa restrito foi selecionado, ou seja, o gerenciamento dos resíduos Classe A produzidos na obra em questão. Esta pesquisa também pode ser caracterizada como descritiva, uma vez que os fatos acompanhados durante a execução das operações de manejo dos resíduos foram registrados e interpretados sem que os pesquisadores interferissem em seu andamento.

### ***Caracterização da 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 ser possível a escavação dos três solos que irão compor o edifício, foi necessário realizar a demolição de parte da antiga estrutura e das fundações que compunham a edificação preexistente. A demolição foi realizada por equipamentos dotados de martelos hidráulicos, sendo os resíduos, após a triagem, depositados em pilhas localizadas em uma área específica do canteiro de obras.

## **Resultados Obtidos E Discussões**

### ***Avaliação dos custos de transporte dos resíduos Classe A gerados***

O volume de RCC proveniente da demolição das estruturas foi composto basicamente por materiais cimentícios, podendo ser classificados como Classe A de acordo com a Resolução nº 307/2002 do Conama. Ao total, foram gerados aproximadamente 510m<sup>3</sup> de resíduos, ou seja, o equivalente a 867 toneladas. A predominância dos resíduos observada na obra em estudo condiz com o relatado por diversos autores, tais como Marques Neto e Schalch (2010), Silva et al. (2010), Carmo, Maia e César (2012), Tessaro, Sá e Scremin (2012) e Lima e Cabral (2013), que identificaram na composição gravimétrica dos volumes de RCCs gerados em obras executadas em várias municipalidades brasileiras, a predominância de resíduos de argamassa, concreto, solo e cerâmicas. De acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da cidade de São Paulo (PGIRS), a composição gravimétrica dos RCCs no município caracteriza-se por apresentar 80% de seu volume composto por resíduos Classe A (Prefeitura..., 2014), tal como observado na obra em questão. As Figuras 3 a 5 apresentam as operações de demolição e estocagem dos resíduos Classe A gerados.

Figura 3 – Vista da operação de demolição da estrutura existente



Fonte: Os autores.

Figura 4 – Estacas em processo de demolição



Fonte: Os autores.

Figura 5 – Pilha de deposição dos resíduos de demolição produzidos



Fonte: Os autores

Com o objetivo de se estudar a maneira mais econômica e adequada de destinação dos resíduos Classe A produzidos pelas obras de demolição, foram levantados custos de transporte destes para aterros licenciados ou para usinas de reciclagem de entulho. A Tabela 5 apresenta os custos fornecidos por empresa consultada.

Tabela 5 – Custos fornecidos pelas empresas transportadoras prospectadas

Empresas	Custo de transporte para URE	Custo de transporte para aterro licenciado
X	R\$ 54,00/m <sup>3</sup>	R\$ 104,00/m <sup>3</sup>
Y	R\$ 59,00/m <sup>3</sup>	R\$ 116,00/m <sup>3</sup>
Z	R\$ 70,40/m <sup>3</sup>	R\$ 123,00/m <sup>3</sup>

Fonte: Os autores.

De acordo com a Tabela 5, verifica-se que a empresa “X” foi a que apresentou os menores custos de transporte por metro cúbico de resíduos Classe A, independente da destinação considerada. Dessa maneira, pode-se

constatar que a destinação dos resíduos Classe A consistiu em um fator significativo no preço de seu transporte. Ressalta-se que os valores apresentados na Tabela 5 referem-se aos custos de transporte de resíduos previamente segregados em obra, ou seja, sem a presença de contaminantes ou resíduos de outras Classes (B, C e D). Ressalta-se que os valores de transporte dos resíduos não segregados são geralmente superiores aos dos resíduos devidamente separados, podendo influenciar de forma significativa os valores mostrados na Tabela 5. Na Tabela 6 é apresentada a composição do custo total de transporte dos resíduos Classe A, tanto para aterro quanto para URE, considerando como base o preço informado pela empresa “X”.

Tabela 6 – Composição dos custos totais  
de destinação dos resíduos Classe A gerados

Empresa	Volume total de resíduos (m <sup>3</sup> )	Custo de destinação para URE (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo total de transporte de resíduos para URE (R\$)	Custo de destinação para aterro (R\$/m <sup>3</sup> )	Custo total de transporte de resíduos para aterro (R\$)
X	510	54,00	27.540,00	104,00	53.040,00

Fonte: Os autores.

Observando-se a Tabela 6 constata-se um custo de destinação dos RCCs para aterro referente a R\$ 21,2/m<sup>2</sup> de contrapiso a ser executado, enquanto a destinação para a URE acarretou em um custo de cerca de R\$ 11,01/m<sup>2</sup>, uma diferença observada de 48% entre os valores obtidos. Deve-se destacar que, além de ser mais onerosa, a destinação dos RCCs para aterros, mesmo licenciados, aumenta ainda mais o impacto ambiental causado pelo setor da construção civil, uma vez que causa a degradação do local de depósito, contribui com a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, causa esgotamento de áreas naturais, gera custos significativos para as municipalidades entre outros. Salienta-se que a cidade de São Paulo, de acordo com o PGIRS (Prefeitura..., 2014) possui atualmente somente três aterros privados devidamente licenciados para o recebimento dos RCCs, sendo

estes localizados nos distritos de Pirituba, Grajaú e no município vizinho de Itaquaquecetuba, ou seja, em distâncias significativas do centro da cidade e local da obra em estudo.

### ***Avaliação dos custos de aquisição de material granular para execução da base do contrapiso***

Para execução da base do contrapiso, inicialmente foram cotados preços para aquisição de brita#2 natural junto a três jazidas próximas ao local da obra, conforme se apresenta na Tabela 7. Todas as jazidas prospectadas foram localizadas na região da Grande São Paulo.

Tabela 7 – Preços levantados em jazidas naturais para fornecimento de brita#2

Material	Fornecedor			Valor médio (R\$/m <sup>3</sup> )	Desvio padrão (R\$)	Coef. De Variação (%)
	A (R\$/m <sup>3</sup> )	B (R\$/m <sup>3</sup> )	C (R\$/m <sup>3</sup> )			
Brita#2	82,00	90,00	78,00	83,33	6,11	7,3

Fonte: Os autores.

Observa-se, por meio da Tabela 7, que os preços por m<sup>3</sup> de brita#2 apresentaram uma variação de aproximadamente 13% quando comparado o menor e o maior valor obtidos. Após consulta à empresa projetista do contrapiso, houve a possibilidade de se substituir o material natural da base (brita#2) por material reciclado de mesma faixa granulométrica, possibilidade esta permitida pela ABNT/NBR 15.116/2004, desde que o material estivesse de acordo com as exigências apresentadas na referida norma técnica. Dessa forma, foram cotados os preços deste material alternativo em três usinas de reciclagem de entulho (URE) localizadas nas cidades de São Paulo, Osasco e Guarulhos, sendo estes apresentados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8 – Preços levantados em usinas de reciclagem  
de RCCs localizadas na região de São Paulo

Material	Fornecedor			Valor médio (R\$/m <sup>3</sup> )	Desvio padrão (R\$)	Coef. de Variação (%)
	D (R\$/m <sup>3</sup> )	E (R\$/m <sup>3</sup> )	F (R\$/m <sup>3</sup> )			
Reciclado	22,00	27,00	38,00	29,00	8,20	28,2

Fonte: Os autores.

Nota-se, ao comparar as Tabelas 7 e 8, que os materiais naturais apresentaram preço médio/m<sup>3</sup> aproximadamente três vezes superior àqueles apresentados pelos materiais reciclados. De acordo com Leite (2001), a utilização de agregados reciclados nas construções consiste em uma forma econômica para obtenção de materiais de construção. De acordo com a autora, o custo por metro cúbico de agregado reciclado é cerca de 20% do custo do agregado natural. Paschoalin Filho e Orcioli (2013) constaram que o preço dos resíduos de construção civil em granulometria de areia e brita apresentaram em média preços 47% inferiores aos agregados naturais considerando-se UREs localizadas na região de São Paulo. Nas Tabelas 9 e 10 são apresentadas as composições dos custos totais de execução da base do contrapiso levando em consideração as opções de destinação do resíduo e aquisição de material granular, tanto natural quanto reciclado. Os custos demonstrados foram compostos com base nas empresas que forneceram os menores valores para cada atividade, conforme já descrito nas Tabelas anteriores. A Figura 6 apresenta a comparação entre os valores das alternativas de manejo analisadas por metro quadrado de contrapiso a ser executado.

Tabela 9 – Composição do custo total considerando-se a aquisição de material granular natural e transporte de resíduos de demolição para URE e aterro licenciado

Volume Total de transporte de resíduos (m <sup>3</sup> )	Volume Total de brita#2 ocorrência (m <sup>3</sup> )	Custo Total bruto#1 a natural (R\$)	Custo de Transporte para usinas (R\$)	Custo Total (transporte para usinas+aquisição de agregado natural) (R\$)	Custo de Transporte para aterros (R\$)	Custo Total (transporte para aterros+aquisição de agregado natural) (R\$)
510	500	39.000,00	27.540,00	66.540,00	57.040,00	92.040,00

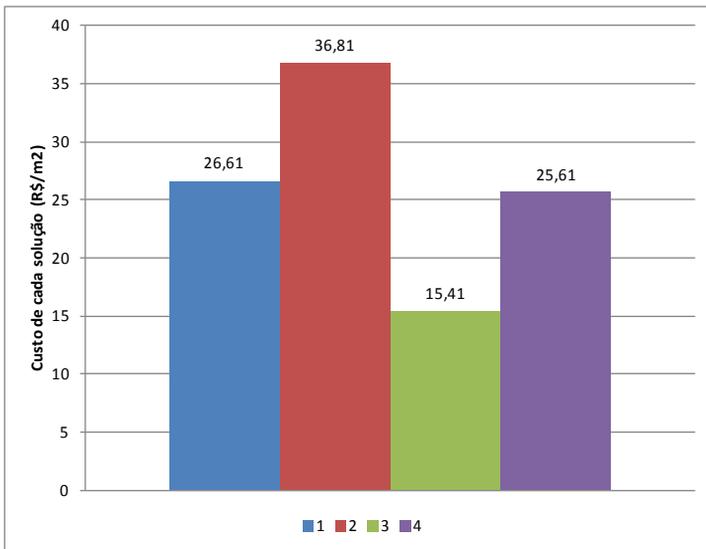
Fonte: Os autores.

Tabela 10 – Composição do custo total considerando-se material granular reciclado e transporte de resíduos de demolição para URE e aterro licenciado

Volume Total de transporte de resíduos (m <sup>3</sup> )	Volume Total de agregado necessário (m <sup>3</sup> )	Custo Total do Material Reciclado (R\$)	Custo de Transporte para usinas (R\$)	Custo Total (transporte para usinas+aquisição de agregado reciclado) (R\$)	Custo de Transporte para aterros (R\$)	Custo Total (transporte para aterro+aquisição de agregado natural) (R\$)
510	500	11.000,00	27.540,00	38.540,00	53.040,00	64.040,00

Fonte: Os autores.

Figura 6 – Comparação de preços por metro quadrado de contrapiso das soluções de manejo



Onde: 1) Aquisição de material granular natural e transporte de resíduos de demolição para URE; 2) Aquisição de material granular natural e transporte dos resíduos de demolição para aterro; 3) Aquisição de material granular reciclado e transporte de resíduos de demolição para URE; 4) Aquisição de material granular reciclado e transporte de resíduos de demolição para aterro.

Fonte: Os autores.

Observando-se as Tabelas 9 e 10 e a Figura 6, verifica-se que a opção mais econômica consistiu na utilização de material granular reciclado na composição da camada de base do contrapiso, com destinação dos resíduos de demolição para usinas de reciclagem de entulho (URE). Uma vez que o volume de resíduos Classe A gerado pelas operações de demolição e o volume de material granular para a composição da base do contrapiso foram próximos, resolveu-se estudar a viabilidade econômica de se instalar uma recicladora móvel na obra de forma a britar “in loco” o volume de resíduo a ser utilizado na confecção da base do contrapiso em granulometria equivalente à de brita#2. Assim, somente o volume excedente de resíduos seria descartado. Segundo Evangelista, Costa e Zanta (2010), a reciclagem dos resíduos Classe A pode ser executada no próprio canteiro de obras por meio do uso de recicladoras móveis, por intermédio de processos de britagem e peneiramento no próprio local de produção dos resíduos e de utilização do agregado logo após sua geração. Tal prática, de acordo com os autores, reduz o consumo de agregados naturais, a destinação para aterros, custos de energia etc. Evangelista (2009) comenta que a reciclagem dos RCCs nas próprias obras já é prática comum em diversas municipalidades brasileiras, tais como São Paulo, Maceió, Aracajú, Salvador e Brasília. Paschoalin Filho et al. (2013) apresentam um trabalho no qual se empregou uma recicladora móvel com capacidade produtiva de 400m<sup>3</sup>/hora para a britagem dos resíduos de demolição das arquibancadas de uma arena esportiva localizada na cidade de São Paulo. De acordo com os autores, a adoção da recicladora “in loco” proporcionou maior agilidade no processo de britagem dos resíduos e sua posterior utilização na obra estudada, além de ganhos econômicos significativos em razão da redução das operações de transporte para deposição dos resíduos e necessidade de aquisição de matéria-prima natural.

Para o estudo da viabilidade econômica da reciclagem dos resíduos Classe A “in loco” foram levantados preços de locação e mobilização de recicladoras móveis junto a três empresas especializadas localizadas na cidade de São Paulo. A recicladora avaliada consistiu em um britador móvel de 20

toncladas dotado de esteiras, mandíbulas e eletroímã para a separação de ferragem, possuindo produtividade média de cem toneladas por hora. A Tabela 11 apresenta os valores obtidos.

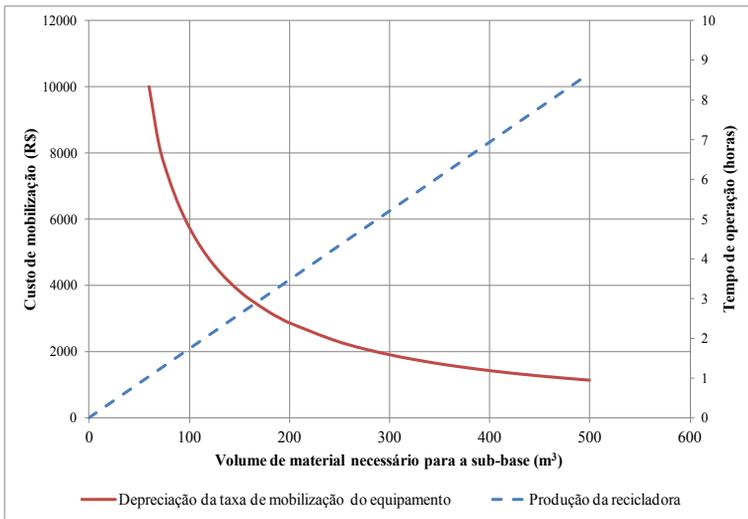
Tabela 11 – Levantamento de preços para realização de reciclagem “in loco”

Item	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.

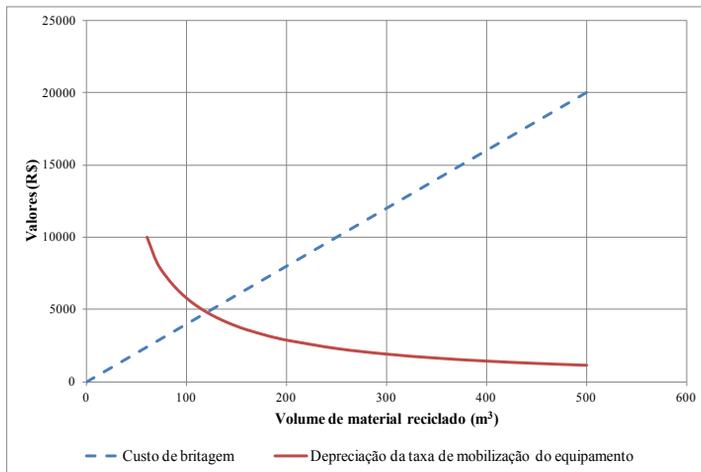
Nota-se, de acordo com a Tabela 11, que a empresa “G” foi a que apresentou os menores preços em relação à mobilização do equipamento e produção de material britado “in loco” em granulometria equivalente a brita#2. Com base nos valores informados pela empresa que apresentou os menores preços, na produtividade da recicladora e na necessidade da obra, foi obtido o gráfico apresentado na Figura 7, no qual são representadas as curvas referentes à depreciação da taxa de mobilização da recicladora e sua produtividade. A Figura 7 apresenta as curvas dos 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 7 – Curvas de produtividade e de depreciação da taxa de mobilização da recicladora



Fonte: Os autores.

Figura 8 – Depreciação da taxa de mobilização e custo de britagem do resíduo

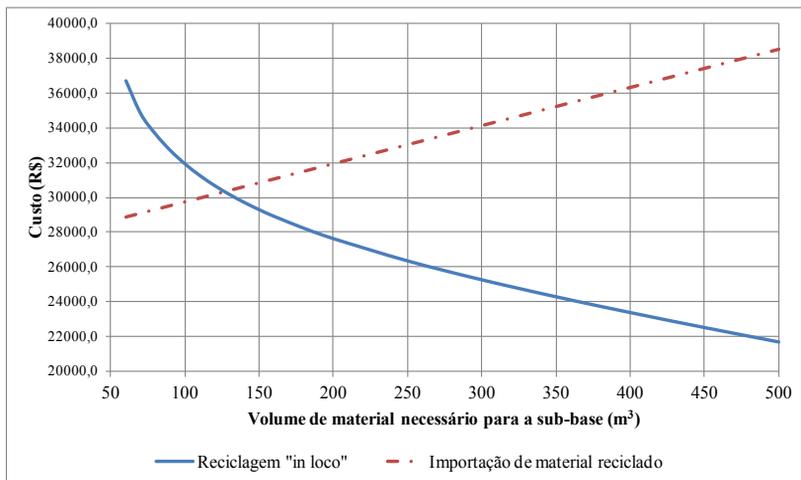


Fonte: Os autores.

Constata-se pela Figura 7 que, considerando-se a produtividade do equipamento em estudo, será necessário um tempo estimado de pouco mais de 8,7 horas de trabalho para a britagem de todo o volume de resíduos necessário para a execução da base do contrapiso. Além do mais, verifica-se que o custo referente à taxa de mobilização do equipamento apresentou redução em razão da produção da recicladora “in loco”. Observando-se em conjunto as Figuras 7 e 8, percebe-se que até um volume de britagem referente a  $120\text{m}^3$  de resíduo, o valor da taxa de mobilização do equipamento manteve-se superior ao custo de britagem, sendo necessário para se produzir este volume um tempo próximo a 2 horas.

Posteriormente, esta solução foi comparada à possibilidade de importação de material reciclado para a execução da base no intuito de se verificar qual era a alternativa mais interessante economicamente. A Figura 9 apresenta a comparação entre os custos de ambas as soluções. Ressalta-se que na estimativa da curva referente à solução de importação de material reciclado, considerou-se o custo de transporte referente a um volume de  $510\text{m}^3$  de resíduos produzidos durante a demolição da estrutura e destinação destes às usinas. Para a estimativa da curva referente à alternativa de britagem “in loco”, considerou-se no transporte o volume referente à diferença entre o volume inicialmente produzido pelas operações de demolição ( $510\text{m}^3$ ) e o britado em obra ( $500\text{m}^3$ ), uma vez que este último condiz ao volume utilizado na execução da base do contrapiso.

Figura 9 – Comparação entre os custos das soluções de reciclagem “in loco” e aquisição de material reciclado para execução da base do pavimento



Fonte: Os autores.

Observa-se por meio da Figura 9, que o custo da operação de reciclagem “in loco” dos RCCs gerados pelas obras de demolição foi de aproximadamente R\$ 21.950,00, ou seja, R\$ 44,00/m<sup>3</sup> de resíduo reciclado. Constata-se também que a alternativa de solução referente à importação de material reciclado e destinação total às UREs dos resíduos de demolição produzidos demonstrou ser interessante, do ponto de vista econômico, até um volume de 130m<sup>3</sup>. 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 à britagem “in loco”, somente o volume de resíduos não aproveitados na execução da base serão transportados para usinas (10m<sup>3</sup>), ou seja, quanto maior o volume de material britado produzido na obra, menor o volume necessário de transporte, fato este que não se verifica na alternativa de importação de material reciclado, quando todo o resíduo produzido pelas operações de demolição das estacas seriam descartados.

Também foi realizada a avaliação econômica do processo de reciclagem dos RCCs na própria obra, tendo por base a equação (1) apresentada por Evangelista, Costa e Zanta (2010). Esta avaliação parte da premissa do ganho econômico do processo de reciclagem no canteiro por metro cúbico, que consistiu no valor referente ao custo do agregado natural (R\$/m<sup>3</sup>), acrescido do valor de destinação (R\$/m<sup>3</sup>) e subtraído do custo de produção do agregado reciclado “in loco” (R\$/m<sup>3</sup>). A Tabela 12 apresenta os resultados obtidos para cada uma das alternativas de manejo estudadas considerando-se os menores preços fornecidos por empresa consultada.

$$Ger = Can + Cbf - Car \quad (1)$$

Onde:

Ger: Ganho econômico com a reciclagem “in loco” (R\$/m<sup>3</sup>);

Can: Custo do agregado natural

Cbf: Custo de destinação

Car: Custo de produção do agregado reciclado “in loco”.

Tabela 12 – Ganho econômico obtido por meio da reciclagem “in loco” em cada uma das alternativas de manejo estudadas.

Alternativa de manejo	Can(R\$/m <sup>3</sup> )	Cbf(R\$/m <sup>3</sup> )	Car(R\$/m <sup>3</sup> )	Ger (R\$/m <sup>3</sup> )
Destinação para aterro e aquisição de material natural	78,00	104,00	44,00	138,00
Destinação para aterro e aquisição de material reciclado	22,00	104,00	44,00	82,00
Destinação para URE e aquisição de material natural	78,00	54,00	44,00	88,00
Destinação para URE e aquisição de material reciclado	22,00	54,00	44,00	32,00

Fonte: Os autores.

De acordo com a Tabela 12 pode-se verificar que a alternativa de manejo referente à reciclagem dos RCC “in loco” conduziu a ganhos econômicos que variaram entre R\$ 138,00/m<sup>3</sup> a R\$ 32,00/m<sup>3</sup>. Tal fato constata a viabilidade econômica da operação adotada na obra. Este ganho também

foi observado por Evangelista, Costa e Zanta (2010) que constataram a vantagem econômica da reciclagem dos resíduos “in loco”, apesar do investimento direto necessário para tal. Além do mais, deve-se ressaltar o ganho ambiental desta operação, ou seja, um volume significativo de RCCs deixou de ser enviado para aterros ou destinado de forma irregular, além da redução da necessidade de aquisição de matéria-prima natural. Dessa forma, A reciclagem “in loco” dos RCCs se apresentou como uma solução econômica para a execução da base do contrapiso, pois ofereceu a possibilidade de reutilização dos resíduos produzidos pelas operações de demolição ao invés de simplesmente encaminhá-los para a disposição final, reduzindo custos de transporte e aquisição de materiais de construção. Além do mais, deve-se destacar que a forma de reciclagem dos RCCs na obra em estudo condiz com a hierarquia de gestão dos resíduos sólidos ressaltada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305/2010, na qual se atribui grande importância à redução dos volumes de resíduos gerados em obra e reciclagem destes.

## Conclusões

O setor da construção civil consiste em um grande gerador de resíduos sólidos quando comparado aos demais setores produtivos. Os resíduos de construção e demolição gerados compõem grandes percentuais na massa de resíduos sólidos urbanos (RSUs) 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.

Em relação à prática de manejo dos resíduos adotada na obra em estudo, constatou-se que, dentre as soluções avaliadas, a instalação da recicladora “in loco” foi a que apresentou melhor vantagem econômica em relação às demais estudadas. Deve-se destacar, contudo, que a utilização da recicladora somente demonstrou ser interessante a partir de um determinado volume necessário de produção de material britado, que, no caso da obra em estudo, situou-se em 130m<sup>3</sup>. Abaixo deste volume mínimo seria preferível a adoção da solução de importação total de material granular reciclado e destinação total dos resíduos de demolição às usinas próximas do local da obra.

Por meio dos preços levantados junto as empresas pesquisadas, este trabalho também verificou que a forma de destinação dos resíduos influenciou fortemente nos custos de transporte estimados, ou seja, os resíduos transportados para aterros apresentaram custos mais elevados que aqueles destinados para usinas de reciclagem. Também se constatou que a aquisição de material granular reciclado apresentou custos menores que a aquisição de material granular natural de mesma granulometria. Deve-se destacar, porém, 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. Ressalta-se que controle dos volumes de resíduos gerados em uma obra, sua classificação e correta destinação, consiste em importante ferramenta de gestão, pois esta, além de ser parte das exigências de entidades de certificação verde (LEED, AQUA, etc.), também são de grande importância na incorporação da variável ambiental no setor da construção civil.

Pode-se concluir, portanto, que o manejo adotado na obra em relação à reciclagem “in loco” dos RCCs está ligada ao conceito de *triple bottom line*, sendo o pilar ambiental representado pela redução dos volumes de resíduos

que provavelmente seriam destinados para aterro, na redução das emissões de carbono advindas das operações de transporte dos resíduos e na redução da necessidade de importação de matéria-prima natural; o pilar econômico seria representado pelos ganhos obtidos em razão das reduções dos custos envolvidos na operação, enquanto o pilar social estaria representado pela reinserção do resíduo no processo produtivo, possibilitando, dessa forma, a geração de uma nova cadeia produtiva.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Abrelpe. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil*. São Paulo, 2012. 116p.

AL-HAJJ, A.; HAMANI, K. Material waste in the UAE construction industry: Main cases and minimization practices. *Architectural Engineering and Design Management*, v. 7, n. 4, p. 221-235, 2011.

AMADEI, D. I. B. et al. 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. et al. Resíduos de construção e demolição: avaliação de métodos de quantificação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 3, p. 299-306, 2011.

ÂNGULO, S. C. et al. 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.

ARAÚJO, 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, 2004a.

\_\_\_\_\_. *NBR 15112*: Diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de triagem e transbordo. Rio de Janeiro, 2004b.

\_\_\_\_\_. *NBR 15113*: Diretrizes para projeto, implantação e operação de aterros. Rio de Janeiro, 2004c.

\_\_\_\_\_. *NBR 15114*: Diretrizes para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem. Rio de Janeiro, 2004d.

\_\_\_\_\_. *NBR 15115*: Procedimentos para execução de pavimentação utilizando agregados reciclados de resíduos da construção. Rio de Janeiro, 2004e.

\_\_\_\_\_. *NBR 15116*: Requisitos para a utilização em pavimentos e preparo de concreto sem função estrutural com agregados reciclados de resíduos da construção. Rio de Janeiro, 2004f.

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), p. 223-230, 2007.

BANIAS G. et al. A web-based decision support system for the optimal management of construction and demolition waste. *Waste Management*, v. 31, n. 12, p. 2.497-2.502, 2011.

BERNARDES, A. Et al. 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 entregues 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 n. 307*, de 5 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 2002a. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/-index.cfm>>.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Conama. *Resolução n. 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, 2002b. 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.

DUARTE, E. B. L. *Resistência a compressão de argamassa composta por resíduo de construção e demolição e politereftalato de etileno (PET) em flocos*. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Nove de Julho, Programa de Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade, 170p. 2013.

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.

EVANGELISTA, P. P. A. *Alternativa sustentável para destinação de resíduos de construção classe A: diretrizes para a reciclagem em canteiros de obras*. 2009. 152f (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2009.

FAGURY, S. C.; GRANDE, F. M. Gestão de resíduos de construção e demolição (RCC) – 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 construção na composição de tijolos de solo-cimento. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2001. Campinas. *Anais...* Campinas, 2004.

HU, M.; VOET, E.; HUPPES, G. Dynamic material flow analysis for strategic construction and demolition waste management in Beijing. *Journal of Industrial Ecology*, v. 14, n. 3, p. 440-448, 2010.

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. et al. 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*. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, 2000. 13p.

KATZ, A.; BAUM, H. A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. *Waste Management*, v. 31, n. 2, p. 353-358, 2011.

KRALJ, D. Innovative systemic approach for promoting sustainable innovation for zero construction waste. *Kybernetes*, v. 40, n. 1/2, p. 275-289, 2011.

LAGE, I. M. et al. Estimation of the annual production and composition of C&Debris in Galicia (Spain). *Waste Management*, v. 30, n. 4, p. 636-645, 2010.

LEITE, M. B. *Avaliação das propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de construção e demolição*. 2001. 290f. (Doutorado em Engenharia) Porto Alegre – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LEITE, R. A. et al. Usina de reciclagem de resíduos de construção e demolição do município de Passo Fundo (RS): avaliação da viabilidade econômica. *Recen*, Guaruapuava, v. 12, n. 1, p. 107-129, jan./jun. 2010.

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, Weisheng; TAM, Vivian 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, 2013.

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, p. 1.252-1.264, 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 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. et al. 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. 3.717-3.720, 2009.

OYEDETE, L. O. et al. 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.; ORCIOLLI, G. Viabilidade econômica de utilização de resíduos de construção e demolição reciclados em usinas de reciclagem. In: SEMEAD – Seminário em Economia e Administração, 2013, São Paulo, 2013.

PASCHOALIN FILHO, J. A. et al. 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 (RCC) 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.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Plano de gestão integrada de resíduos sólidos. PMSP. São Paulo, 2014. 456p.

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.

SCHNEIDER, 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, 2003.

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

SILVA, W. M. et al. 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.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Sinduscon/SP. *Resíduos de construção civil e o Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo. 2012. 120p.

SOUZA, M. T. S.; PAULA, M. B.; PINTO, H. S. O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo. *Revista de Administração de Empresas*, v. 52, n. 2, p. 246-262, mar./abr. 2012.

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.; TAM, C. M. A review on the viable technology for construction waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 47, p. 209-221, 2006.

TAM V. W. Y. et al. 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. et al. 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. et al. 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, v. 4, p. 47-63, 2004.

YATES, J. K. Sustainable methods for waste minimization in construction. *Construction Innovation*, v. 13, n. 3, p. 281-301, 2013.

YIN, R. Estudo de caso: planejamento e métodos. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YUAN, H. A model for evaluating the social performance of construction waste management. *Waste Management*, v. 32, n. 6, p. 1.218-1.228, 2012.

YUAN, H. P. et al. 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.

Recebido em: 11/3/2014

Accito em: 17/10/2014