



VII SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade
International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2317-8302

UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS NA EXECUÇÃO DE SUB-BASE DE PAVIMENTO NAS CIDADES DE SÃO PAULO E MADRI: UM ESTUDO COMPARATIVO

ALBERTO RUIZ LOZANO

Universidade Nove de Julho

JOÃO ALEXANDRE PASCHOALIN FILHO

Universidade Nove de Julho



UTILIZAÇÃO DE AGREGADOS RECICLADOS NA EXECUÇÃO DE SUB-BASE DE PAVIMENTO NAS CIDADES DE SÃO PAULO E MADRI: UM ESTUDO COMPARATIVO

Resumo

O volume de Resíduos de Construção Civil (RCC) consiste, em média, em 35% dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Dessa forma, a reciclagem dos RCC tem sido tema de trabalhos técnicos e pesquisas por todo o mundo no âmbito de proporcionar melhor aproveitamento e destinação destes. Dentro deste contexto, este relato técnico apresenta uma análise comparativa entre os custos de execução de camadas de sub-base de pavimento utilizando-se materiais pétreos naturais, de fontes não renováveis, e procedentes de RCC (concreto e cerâmica) em obras localizadas nos municípios de São Paulo (Brasil) e Madri (Espanha). Por meio dos resultados obtidos pode-se verificar o potencial de redução nos custos das obras em percentagens variando entre 17% e 29%. Ressalta-se que a utilização de RCC em obras de pavimentação é permitida por normas técnicas brasileira e espanhola. Portanto, a utilização de RCC apresenta-se como uma potencial alternativa na inserção da variável ambiental no setor da Construção Civil.

Palavras-chave: Reciclagem; RCC; Pavimento; Construção Civil.

Abstract

The amount of Civil Construction Waste (CCW) consists, on average, of 35% of Urban Solid Waste (USW). In this way, the recycling of CCW has been the subject of technical work and research around the world in order to provide better use and destination of these. In this context, this technical report presents a comparative analysis of the costs of laying pavement layers using natural stone materials from non-renewable sources and from CCW (concrete and ceramics) in construction works located in the municipalities of São Paulo (Brazil) and Madrid (Spain). The obtained results show the potential of reduction in the costs of the paving works in percentages varying among 17% and 29%. It is emphasized that the use of CCW in paving works is permitted by Brazilian and Spanish technical standards. Therefore, the use of CCW consists in a potential alternative in the insertion of the environmental variable in the Civil Construction sector.

Keywords: Recycling; CCW; Pavement; Civil Construction.



Introdução

O setor da Construção Civil é responsável por grande parte da economia de um país, gerando empregos diretos e indiretos, bem como a redução dos déficits habitacional e de infraestrutura (Paschoalin Filho, Storopoli, Dias & Duarte, 2015). No entanto, apesar das vantagens proporcionadas, este setor também é responsável por significativos danos ao meio ambiente. Paschoalin Filho et al. (2015) comentam que 50% dos recursos naturais extraídos mundialmente são consumidos pela Construção Civil. De acordo com as pesquisas realizadas por Macozoma (2002), a Construção Civil consome 25% da madeira, 16% da água e 40% da matéria-prima bruta extraída do meio ambiente, além de ser responsável por 40% do consumo energético e 30% das emissões de gases de efeito estufa.

Dessa forma, a necessidade de redução do consumo das matérias-primas naturais, desde a fase de projetos das obras, até sua execução, já foi apontada por diversos autores como: Lauritzen (1998), Osmani, Glass e Price (2008) e Ajayi, Oyedele, Bilal, Akinade, Alaka e Owolabi (2017).

Entretanto, mesmo respondendo pelos impactos ambientais gerados, a Construção Civil consiste em um dos setores industriais que mais investe em novas tecnologias executivas e desenvolvimento de materiais (Paschoalin Filho et al., 2015). Assim sendo, os RCC vêm sendo tema de estudos para a sua utilização em concretos, asfaltos, terraplenagem e bases de pavimentos; dentre estes pode-se citar as pesquisas conduzidas por: Vegas, Ibañez, San José e Urzelai (2008), Arulrajah Arulrajah, Piratheepan, Ali e Bo (2012), Arulrajah, Piratheepan e Disfani (2014), Azam e Cameron (2013), Gabr e Cameron (2012), Ossa, García, e Botero (2016), Paschoalin Filho, Storopoli, Dias e Duarte (2015) e Sriravindrarajah, Wang e Ervin (2012).

Segundo os dados estatísticos da *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD), em 2014, os Resíduos provenientes da Construção e Demolição (RCC) compunham cerca de 35% do total dos resíduos sólidos urbanos. Os valores de geração *per capita* de RCC, segundo a OECD (2014), são muito variáveis em função da cultura e desenvolvimento de cada país, mas, em média, se obtém um valor de 1.748 kg/hab.ano frente a 453 kg/hab.ano de resíduo sólido doméstico.

De acordo com a *Statistical Office of the European Union* (Eurostat), para o mesmo ano de 2014, a porcentagem dos RCC que foi reutilizada e reciclada alcança, em média, 88% do volume gerado nos 28 países da União Europeia (EU). Contudo, no Brasil esta realidade é bem diferente, ou seja, cerca de 20% dos RCC gerados são reciclados (Paschoalin Filho et al., 2015).

No ano de 2014, a *United States Environmental Protection Agency* (EPA) verificou a seguinte composição gravimétrica na massa de RCC nos Estados Unidos: 70% concreto, 17% asfalto, 7% madeira, 3% gesso, 2% tijolos cerâmicos e 1% aço. No Brasil, segundo Paschoalin Filho e Graudenz (2013), verifica-se a seguinte composição dos RCC: 40 a 60% de concreto e argamassas, 30% de solo e 20 a 30% de cerâmica.

Autores como Duan e Li (2016), Osmani (2011), Paschoalin Filho, Storopoli, e Duarte (2014) e Wu, Yu, Shen e Liu (2014) analisaram os componentes das massas geradas de RCC em diferentes localizações. Pereira, Medeiros e Levy (2012) e Thomas, Setién, Polanco, Alaejos e Sánchez (2013) analisaram as propriedades mecânicas em diferentes composições de concretos dosados com RCC. Os autores observaram resistências a compressão inferiores aos concretos dosados com agregados naturais, salientando que os principais problemas destes produtos estão nas características heterogêneas de seus componentes, impossibilitando em muitos casos a utilização em construções estruturais, devido à variabilidade de resultados.

De acordo com os dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), publicados no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2016), a quantidade de RCC coletada nos municípios brasileiros foi superior a 45 milhões de



toneladas, valor semelhante ao obtido nos anos anteriores, o que corresponde a um valor coletado de 219 kg *per capita* ao ano, uma quantidade inferior á média europeia (1.748 kg/ano) e norte-americana (1.676 kg/ano).

Baseado nestes condicionantes, este relato técnico tem por objetivo investigar a possibilidade da substituição de materiais naturais componentes das camadas de sub-base de pavimentos urbanos por agregados reciclados, em um estudo comparativo em dois cenários diferentes: Brasil e Espanha.

Almeja-se dar resposta á seguinte questão de pesquisa: “*Como o emprego de resíduos provenientes de construção e demolição podem trazer benefícios econômicos e ambientais na execução de pavimentos localizados nas cidades de São Paulo e Madri?*”

Para tal, foi realizado um estudo dos custos necessários para execução de um pavimento típico, considerando-se a utilização de RCC e agregados naturais. Destaca-se que a possibilidade de utilização de resíduos de construção na execução de pavimentos é prevista por normas técnicas de ambos os países.

2 Referencial Teórico

2.1 Marco legislativo no Brasil

A Lei nº 12.305, de 5 de agosto de 2010, instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), na qual estabelece as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, complementando as Leis nº 11.445 (2007), nº 9.974 (2000) e nº 9.966 (2000).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a Resolução nº 307, de 17 de julho de 2002, complementada posteriormente pelas Resoluções nº 348 (2004), nº 431 (2011), nº 448 (2012) e nº 469 (2015). Esta definiu os RCC como:

“Resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos” podendo ser compostos por materiais 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 (CONAMA, 2002)”.

Esta resolução também foi responsável pelo estabelecimento do marco regulatório para a gestão dos resíduos da Construção Civil no Brasil, classificando-os em quatro classes em função de seus componentes, tal como apresentado na Figura 1:

Classe	Tipologia de Resíduos	Destinação
Classe A	Solos provenientes de terraplanagem, componentes cerâmicos e peças pré-moldadas em concreto (provenientes de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura).	Reutilização ou reciclagem na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos específico (de forma que permita sua exploração futura).
Classe B	Plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.	Reutilização, reciclagem ou envio a áreas de armazenamento temporário.
Classe C	Aqueles para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.	Armazenagem, transporte e destinação em conformidade com as normas técnicas específicas.



Classe D	Perigosos como tintas, solventes, óleos, contaminados ou prejudiciais à saúde provenientes de clínicas radiológicas ou instalações industriais, que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.	Armazenagem, transporte e destinação em conformidade com as normas técnicas específicas.
----------	---	--

Figura 1. Classificação dos resíduos da Construção Civil

Nota. Fonte: Adaptado das resoluções: nº307 (2002) nº 348 (2004), nº 431 (2011), nº 448 (2012) e nº 469 (2015) do CONAMA.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou no ano de 2004, a Norma Brasileira para a utilização dos agregados reciclados em camadas de pavimentação e em preparo de concretos sem função estrutural, ou seja, a ABNT NBR 15.116/2004; a qual define características técnicas e ensaios necessários para os agregados classe A, a fim de permitir sua utilização nas diferentes camadas do pavimento (subleito, sub-base e base), tal como se apresenta nas Figuras 2 e 3.

Propriedades	Agregado classe A	
	Graúdo	Miúdo
Composição granulométrica	Não uniforme e bem graduado com coeficiente de uniformidade $C_u > 10$	
Dimensão máxima	≤ 63 mm	
Índice de forma	≤ 3	-
Teor de material passante na peneira de 0,42 mm	Entre 10% e 40%	
Contaminantes - teores máximos em relação à massa do agregado reciclado (%)		
	Materiais não minerais de mesmas características ¹	2
	Materiais não minerais de características distintas ¹	3
	Sulfatos	2

¹ Exemplos de materiais não minerais: madeira, plástico, betume, materiais carbonizados, vidros e vidrados cerâmicos.

Figura 2. Requisitos gerais para agregado reciclado destinado a pavimentação

Nota. Fonte: ABNT NBR nº. 15.116 (2004).

Aplicação	ISC (CBR) %	Expansibilidade %	Energia de compactação
Material para execução de reforço de subleito	≥ 12	$\leq 1,0$	Normal
Material para execução de revestimento primário e sub-base	≥ 20	$\leq 1,0$	Intermediária
Material para execução de base de pavimento ¹	≥ 60	$\leq 0,5$	Intermediária ou modificada

¹ Permitido o uso como material de base somente para vias de tráfego com $N \leq 10^6$ repetições do eixo padrão de 8,2 tf (80 kN) no período de projeto.

Figura 3. Requisitos específicos para agregado reciclado destinado a pavimentação

Nota. Fonte: ABNT NBR nº. 15.116 (2004).

Outras normas da ABNT relacionadas com o projeto e a implantação de áreas de triagem, reciclagem de resíduos de construção e utilização destes são apresentadas na Figura 4.

Norma	Título	Objetivo
ABNT NBR: 15112	Resíduos da Construção Civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação.	Esta norma fixa os requisitos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da Construção Civil e resíduos volumosos.
ABNT NBR: 15113	Resíduos sólidos da Construção Civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes par projeto, implantação e operação.	Esta norma fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da



		Construção Civil classe A e de resíduos inertes.
ABNT NBR: 15114	Resíduos sólidos da Construção Civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes par projeto, implantação e operação.	Esta norma fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da Construção Civil classe A.
ABNT NBR: 15115	Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos.	Esta norma estabelece os critérios para execução de camadas de reforços do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como camada de revestimento primário, com agregado reciclado de resíduo sólido da Construção Civil, denominado “agregado reciclado”, em obras de pavimentação.
ABNT NBR: 15116	Agregado reciclado de resíduos da Construção Civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.	Esta norma estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil, sendo destinados: a) obras de pavimentação viária; em camadas de reforço de subleito, sub-base e base de pavimentação ou revestimento primário de vias não pavimentadas, b) preparo de concreto sem função estrutural.

Figura 4. Normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) sobre RCC (Resíduos de Construção Civil).

Nota. Fonte: Paschoalin Filho et al. (2014)

2.2 Marco legislativo na Espanha

Historicamente, a legislação ambiental começou em 1967 com a publicação de uma Diretiva da Comunidade Econômica Europeia (CEE), precursora da União Europeia (UE), continuando com as sucessivas Diretivas e desenvolvendo as *Leyes* e *Reales Decretos*, equivalentes em importância às as Leis e Decretos brasileiros (Muñoz, 2013).

A Lei espanhola nº 10 de (1998) para resíduos, define estes como qualquer substância ou objeto que seu proprietário descarte ou tenha intenção ou obrigação de descartar. Posteriormente, o Real Decreto nº 105 (2008) para a regulação da produção e gestão dos RCC os define como qualquer substância que cumpra a definição de resíduo gerado em uma obra de construção e demolição. A Resolução nº 3.243 (2009) publicou o *Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008- 2015* (PENIR) o qual definiu como obrigatório, em todos os projetos de construção e demolição, a elaboração de um estudo de gestão dos RCC. Esta resolução veio como resposta à intensa geração de RCC, dos quais mais de 50% era objeto de deposição final incorreta e sem tratamento e só 8% era reciclado.

A Lei espanhola nº 22 de 2011 definiu como objetivo para o ano de 2020 a reutilização ou reciclagem de, no mínimo, 70% em massa dos resíduos de construção gerados nas obras. Estabelece também competências acerca do controle da geração e da gestão nas Comunidades Autônomas, a exceção do entulho gerado em obras menores domiciliares, cuja gestão corresponde às administrações locais. A Lei nº 5 de 2013 modificou parcialmente as Lei nº 16 de 2002 e nº 22 de 2011, fomentando a prevenção da geração dos RCC, a reutilização, reciclagem e valorização destes.

Com a finalização da vigência do PENIR foi publicada na Resolução nº 13.490 de 2015, o *Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022* (PEMAR), a qual estabelece um marco setorial para a coleta seletiva dos diferentes resíduos em obra, aumenta as taxas de deposição em aterros e o fomento da utilização dos agregados reciclados por meio da introdução de uma quantidade mínima de 5% nas obras de contratação pública e mesma porcentagem, sempre que seja possível, nas obras privadas, estabelecendo os objetivos apresentados na Figura 6.



Tratamento de RCC no período 2016-2022	2016	2018	2020
Mínimo de RCC não perigosos destinados a reutilização, reciclagem ou outras operações de revalorização, excluindo terras e pedras limpas	60%	65%	70%
Máximo de eliminação de RCC não perigosos em aterros sanitários	40%	35%	30%
Mínimo de terras e pedras limpas utilizadas em obras de aterro, restauração ou acondicionamento	75%	85%	90%
Máximo de eliminação de terras e pedras limpas em aterro sanitário do volume total de materiais extraídos	25%	15%	10%

Figura 6. Objetivos quantitativos específicos sobre RCC

Nota. Fonte: PEMAR (2015).

Este programa, marco aprovado em 2015, considerou como objetivos a melhoria contínua e mais criteriosa que as dispostas no ano de 2009, diferenciando entre RCC perigosos e não perigosos. Contemplou também os valores máximos e mínimos a ser cumpridos cada dois anos começando em 2016 para indicadores como a porcentagem destinados em aterros e para reutilização, os quais foram apresentados na Figura 6.

Acerca da tipologia da composição gravimetria das massas de RCC que podem ser utilizadas em terraplenagem e pavimentos, o *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales* (Especificações técnicas gerais) estabelece a necessidade de homogeneidade, ausência de armaduras metálicas e poluentes.

2.3 Aplicações do RCC na construção

Analisando a literatura científica, que aborda as possibilidades do reuso/reciclagem dos resíduos gerados nas diferentes tipologias de obras, verifica-se como principais focos e destinações: a fabricação de concretos e argamassas, estabilização de pavimentos e como materiais de preenchimento de sistemas drenantes.

Pereira et al. (2012) constataram que diferentes relações água/cimento influenciam na resistência mecânica de concretos dosados com diferentes proporções de agregados graúdos procedentes de resíduo de concreto e cerâmicos. Thomas et al. (2013) agregaram as conclusões de Pereira et al. (2012) a importância da porosidade e o estudo do comportamento do concreto em ambiente agressivo. Etxeberria, Gonzalez-Corominas e Galindo (2016) analisaram utilização de agregados reciclados para execução de calçada de concreto com piso drenante.

No ramo da edificação, Hernandez, Botero e Arango (2015) analisaram a fabricação de blocos de terra compactada com agregados de RCC cumprindo com as especificações físicas e mecânicas estabelecidas pela Norma Técnica Colombiana. Marrero, Martínez-Escobar, Mercader e Leiva (2013) estudaram os custos de execução de paredes no sul da Espanha, formadas por dry-wall, comparados com os custos de painéis pré-fabricados com concreto dosado com agregados reciclados e gesso laminado, também reciclado. Os resultados demonstraram redução nos custos com a utilização dos painéis pré-fabricados com resíduos reciclados, além da redução do impacto ambiental que a solução tradicional poderia causar.

Em pesquisas acerca do comportamento dos RCC como material granular para base de pavimentos, Gabr e Cameron (2012) compararam a utilização de RCC com material natural de quartzito. Segundo os autores, a utilização dos RCC foi tecnicamente satisfatória, além de ter apresentado menores custos. Arulrajah et al. (2014) estudaram a execução de sub-base de pavimento com uma mistura de resíduos de concreto e material procedente da fresagem de pavimento asfáltico. Para as condições de tráfego leve, a dosagem dos RCC apresentou viabilidade técnica de utilização.

Na mesma linha de utilização de RCC para base de pavimentos, Haider et al. (2014) conduziram um estudo de caso para as autoestradas no estado de Maryland (EUA), comparando



RCC de concreto com agregados naturais. Os autores concluíram que o comportamento mecânico e físico de ambas possibilidades obteve resultados similares, um ano depois Aydilek (2015) completou o estudo concluindo que, em geral, os agregados naturais geraram deformações permanentes inferiores.

Leite, Motta, Vasconcelos e Bernucci (2011) estudaram em laboratório o desempenho de bases de pavimentos executados com RCC no Brasil. Os autores verificaram que no processo de compactação dos agregados de RCC, estes sofrem transformações físicas que favorecem a densificação e conseqüentemente uma melhoria da capacidade de carga. Posteriormente Arisha, Gabr, El-Badawy e Shwally (2017) realizaram um estudo similar com as matérias disponíveis no Egito, obtendo analogamente melhores resultados nas seções viárias construídas com RCC que nas construídas com agregado tradicional. Porém, os resultados obtidos em laboratório foram influenciados pelo método de compactação usado, devendo ser considerado para a extrapolação a execução em campo como demonstraram Yaghoubi, Disfani, Arulrajah e Kodikara (2018).

3 Metodologia

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi o estudo de caso com abordagem exploratória. Para Yin (2015) o estudo de caso consiste em uma metodologia que abrange planejamento, técnicas de coletas de dados e análise dos mesmos. Ainda de acordo com o autor, nessa metodologia pode-se utilizar mais de uma fonte de informação, por exemplo: documentos, registros, entrevistas, observação direta etc.

Para o presente Relato Técnico foi selecionada uma seção tipo de uma rua em execução atualmente em Madri, executada de acordo com as normas de desenvolvimento urbanístico e serviços públicos, com uma faixa de 3,00 m para cada sentido de circulação e 1,50 m de calçada em ambos os lados (Figura 7).

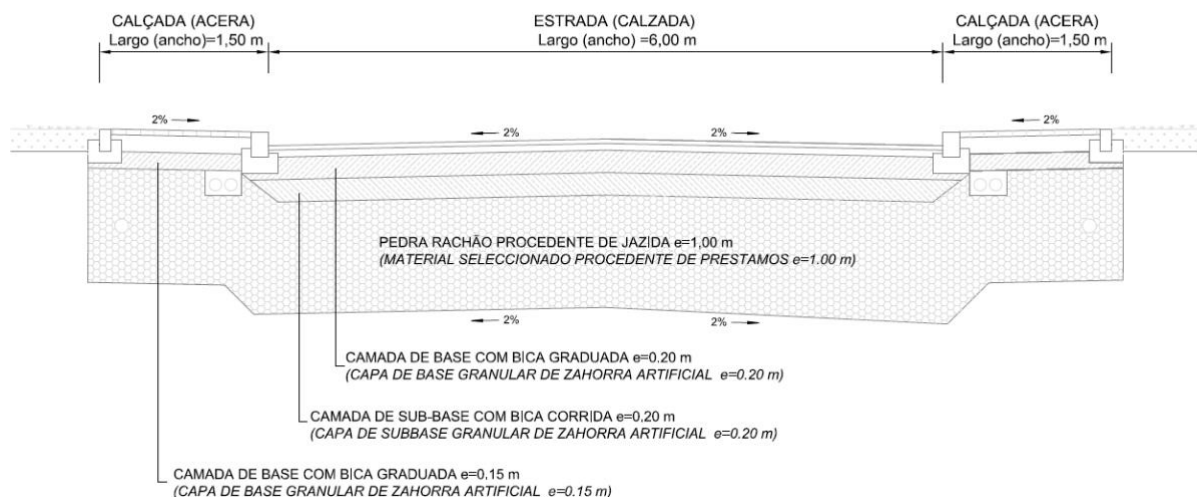


Figura 7. Seção típica da via projetada (sem escala)

Fonte: Dados da pesquisa.

Para cálculo dos agregados necessários na execução da sub-base do pavimento, foi considerado o comprimento de um quilômetro (1 km), de forma a se obter o custo executivo por unidade de via.



Os condicionantes técnicos necessários foram consultados a partir das seguintes normas: *Pliego de Prescripciones Técnicas Generales, Norma 6.1 IC Secciones de firme* e ABNT NBR 15.116 (2004) “*Agregados reciclados de resíduos sólidos para construção civil-utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos*”

Os valores de referência por metro cúbico (m³) dos agregados naturais no Brasil foram obtidos a partir de consultas ao Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) de junho de 2018, analogamente, para a obtenção dos valores na Espanha, foi considerada a base de preços da *Dirección General de Carreteras de enero de 2016*. Por outro lado, os valores de agregados reciclados foram calculados como média dos preços de três Usinas de Reciclagem de Entulho (URE) localizadas na região metropolitana de São Paulo e de Madri.

4 Resultados Obtidos e Análise

Para a seção representada na Figura 7 foram calculados os volumes de agregado tanto natural como reciclado, apresentados na Tabela 1, diferenciando em três tipos materiais devido ao tamanho máximo definido pelas diferentes normativas já descritas, estes são: bica graduada, bica corrida e rachão equivalentes em espanhol aos termos *zahorra artificial* e *suelo seleccionado*, dos quais seriam necessários 11.850 m³ para cada km de pavimentação.

Tabela 1:

Cálculo do volume necessário de agregados/km de via

Material	Comprimento (m)	Largura (m)	Espessura (m)	Volume (m ³)
Bica graduada (<i>zahorra artificial</i>)	1.000	6,0	0,20	1.200,0
	1.000	3,0	0,15	450,0
Bica corrida (<i>zahorra artificial</i>)	1.000	6,0	0,20	1.200,0
Rachão (<i>suelo seleccionado</i>)	1.000	9,0	1,00	9.000,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Na Tabela 2 são representados os valores de material obtidos por meio das tabelas de referência utilizadas e dos orçamentos recebidos. Para realizar a comparação foi considerado como peso específico do material reciclado 16 kN/m³, valor este comumente utilizado para este tipo de material. No caso da diferença de valor entre as moedas de Euro (€) e Real Brasileiro (R\$) foi considerada a média das cotações diárias durante um ano (2017-2018) no mercado de valores.

Tabela 2:

Cotação de materiais

Material	São Paulo/Brasil	Madri/Espanha
----------	------------------	---------------



	Material natural (R\$/m ³)	Material reciclado ^b (R\$/m ³)	Diferença (R\$)	Material natural (R\$/m ³)	Material reciclado ^c (R\$/m ³)	Diferença (R\$ ^a)
Bica graduada (<i>zahorra artificial</i>)	55,16	46,40	8,76	33,14	24,27	8,87
Bica corrida (<i>zahorra artificial</i>)	51,11	46,40	4,71	33,14	24,27	8,87
Rachão (<i>suelo seleccionado</i>)	49,39	40,44	8,95	16,73	11,56	5,17

Nota. Fonte: Dados da pesquisa.

a Considerada cotação média do valor de referência na Bolsa de Valores entre € e R\$ nos últimos 12 meses 2017/2018 (1€ = R\$3,89). Fonte: www.infobolsa.es

^b Considerado valor médio obtido por meio de pesquisa de preço em três URE da Região de São Paulo.

^c Considerado valor médio obtido por meio de pesquisa de preço em três URE da Região de Madri.

Uma vez calculados os volumes e obtidos os preços, foram calculados, por separado os orçamentos, tal como se observam nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3:

Calculo de orçamento São Paulo/Brasil

Material	Volume (m ³)	Material natural (R\$/m ³)	Total M. Natural (R\$)	Material reciclado (R\$/m ³)	Total reciclado (R\$)	Diferença (R\$)	(%)
Bica graduada (<i>zahorra artificial</i>)	1.650,00	55,16	91.014,00	46,40	76.560,00	14.454,00	15,88
Bica corrida (<i>zahorra artificial</i>)	1.200,00	51,11	61.332,00	46,40	55.680,00	5.652,00	9,22
Rachão (<i>suelo seleccionado</i>)	9.000,00	49,39	444.510,00	40,44	363.960,00	80.550,00	18,12
TOTAL	11.850,00		596.856,00		496.200,00	100.656,00	16,86

Nota. Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a Tabela 3, o custo necessário para 1km de via a ser executada com material natural foi de R\$ 596.856,00; enquanto que, ao se considerar o material reciclado, o valor total foi de R\$ 496.200,00. Dessa forma, pode-se constatar uma economia em favor da utilização do agregado reciclado de 17%, ou seja, equivalente a R\$100.656,00. Destaca-se que, com a diferença observada entre valores, poder-se-ia construir cerca de 200m adicionais de via. A seguir, na Tabela 4 é apresentado o orçamento considerando-se a cidade de Madri.

Tabela 4:

Calculo de orçamento Madri/Espanha

Material	Volume (m ³)	Material natural (R\$/m ³)	Total M. Natural (R\$)	Material reciclado (R\$/m ³)	Total reciclado (R\$)	Diferença (R\$)	(%)
Bica graduada (<i>zahorra artificial</i>)	1.650,00	33,14	54.681,00	24,27	40.045,50	14.635,50	26,76
Bica corrida (<i>zahorra artificial</i>)	1.200,00	33,14	39.768,00	24,27	29.124,00	10.644,00	26,77



Rachão (suelo seleccionado)	9.000,00	16,73	150.570,00	11,56	104.040,00	46.530,00	30,90
TOTAL	11.850,00		245.019,00		173.209,50	71.809,50	29,31

Nota. Fonte: Dados da pesquisa.

Observando a Tabela 4, pode-se verificar que o custo para execução da via utilizando-se material natural foi de R\$ 245.019,00, enquanto que o valor considerando o material reciclado foi de R\$ 173.209,50, o que demonstra uma diferença próxima a 30%. A diferença entre os valores necessários utilizando-se material natural e reciclado foi equivalente a R\$ 71.809,50, o que seria suficiente para se executar aproximadamente 400m adicionais de via.

Deve-se também destacar, comparando-se as Tabelas 3 e 4 que, tanto os materiais naturais, bem como os reciclados, são mais baratos em Madri do que em São Paulo, mesmo utilizando-se uma cotação média anual de 1€=R\$3,89. Tal fato se reflete na quantidade adicional que via que poderia ser executada considerando-se materiais reciclados, enquanto que em Madri poder-se-ia executar cerca de 400m, em São Paulo, a economia obtida seria suficiente para a metade deste valor.

5 Conclusões

A Construção Civil é responsável por um grande consumo de matérias-primas naturais, muitas vezes não renováveis; além de gerar grande parte dos resíduos sólidos urbanos. Dessa forma, é importante a utilização de técnicas construtivas e filosofias de projeto que priorizem a redução dos impactos ambientais causados pelo setor. Dentro deste contexto pode-se destacar a reciclagem.

Em relação à análise comparativa dos preços dos materiais para a execução da sub-base do pavimento, a utilização do material reciclado proporcionou uma economia de cerca de 17% em São Paulo e quase 30% em Madri, possibilitando assim uma obra mais barata e mais adequada ambientalmente.

A reciclagem dos resíduos de Construção Civil consiste em uma solução diretamente relacionada ao *Triple Bottom Line*, tal como proposto por Elkington (1988). O tripé econômico consiste nas diferenças de custos observados, em ambas as localidades, entre a utilização do material natural e reciclado. O pilar ambiental é relacionado à mitigação da necessidade de extração de matéria-prima natural e deposição dos resíduos em locais inapropriados. O pilar social pode ser caracterizado pela inserção de mais um elo na cadeia produtiva da construção civil, ou seja, em relação às atividades necessárias de reciclagem dos RCC.

Verificou-se também que os materiais necessários para execução da via apresentaram maiores custos em São Paulo do que em Madri. Esta situação pode ser explicada por diversos fatores como: diferenças de infraestrutura de reciclagem de RCC em ambas localidades, disponibilidade de materiais, demanda de mercado consumidor, concorrência entre os *players* de mercado, carga tributária incidente, entre outras. Portanto, pode-se citar como sugestão para novas pesquisas o aprofundamento no estudo dos motivos das diferenças de custos observadas, procurando explicar de forma mais precisa suas possíveis razões em função das especificidades de cada país.

Referências

Ajayi, S. O., Oyedele, L. O., Bilal, M., Akinade, O. O., Alaka, H. A., & Owolabi, H. A. (2017). Critical management practices influencing on-site waste minimization in construction projects. *Waste Management*, 59, 330-339, ISSN 0956-053X, Elsevier BV, doi:10.1016/j.wasman.2016.10.040



- Arisha, A. M., Gabr, A. R., El-Badawy, S. M., & Shwally, S. A. (2017). Performance Evaluation of Construction and Demolition Waste Materials for Pavement Construction in Egypt. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(2), 04017270.
- Arulrajah, A., Piratheepan, J., Aatheesan, T., & Bo, M. W. (2011). Geotechnical Properties of Recycled Crushed Brick in Pavement Applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(10), 1444-1452, ISSN 0899-1561, American Society of Civil Engineers (ASCE), doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000319
- Arulrajah, A., Piratheepan, J., Ali, M. M. Y., & Bo, M. W. (2012). Geotechnical Properties of Recycled Concrete Aggregate in Pavement Sub-Base Applications. *Geotechnical Testing Journal*, 35(5), 103402, ISSN 0149-6115, ASTM International, doi:10.1520/gtj103402
- Arulrajah, A., Piratheepan, J., & Disfani, M. M. (2014). Reclaimed Asphalt Pavement and Recycled Concrete Aggregate Blends in Pavement Subbases: Laboratory and Field Evaluation. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(2), 349-357, ISSN 0899-1561, American Society of Civil Engineers (ASCE), doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000850
- Arulrajah, A., Piratheepan, J., Disfani, M. M., & Bo, M. W. (2013). Geotechnical and Geoenvironmental Properties of Recycled Construction and Demolition Materials in Pavement Subbase Applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(8), 1077-1088, ISSN 0899-1561, American Society of Civil Engineers (ASCE), doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000652
- Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2016). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*. Recuperado em 10 de maio, 2018, de <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2016.pdf>.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). *Agregados reciclados de resíduos sólidos da Construção Civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos*. NBR 15.116. Rio de Janeiro, de 31 de agosto de 2004.
- Aydilek, A. H. (2015). *Environmental Suitability of Recycled Concrete Aggregates in Highways* (No. MD-15-SP109B4G-2). University of Maryland, Maryland State Highway Administration. Recuperado em 10 de maio, 2018, de http://www.roads.maryland.gov/OPR_Research/MD-15-SP109B4G-2_RCA-GAB_Report.pdf
- Azam, A. M., & Cameron, D. A. (2013). Geotechnical Properties of Blends of Recycled Clay Masonry and Recycled Concrete Aggregates in Unbound Pavement Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(6), 788-798, ISSN 0899-1561, American Society of Civil Engineers (ASCE), doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000634
- Cardoso, R., Silva, R. V., Brito, J. de, & Dhir, R. (2016). Use of recycled aggregates from construction and demolition waste in geotechnical applications: A literature review. *Waste Management*, 49, 131-145, ISSN 0956-053X, Elsevier BV, doi:10.1016/j.wasman.2015.12.021
- Leite, F. C., Motta, R. S., Vasconcelos, K. L., & Bernucci, L. (2011). Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements. *Construction and Building Materials*, 25(6), 2972-2979, ISSN 0950-0618, Elsevier BV, doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.105
- Duan, H., & Li, J. (2016). Construction and demolition waste management: China's lessons. *Waste Management & Research*, 34(5), 397-398, ISSN 0734-242X, SAGE Publications, doi:10.1177/0734242x16647603.



Edil, T. B., Benson, C. H., Tinjum, J. M., Scheartle, G. J., Bozyurt, O., Nokkaew, K., Chen, J. & Bradshaw, S. (2012). *Engineering Properties of Recycled Materials for Unbound Applications*. Recycled Materials Resource Center University of Wisconsin-Madison, Minnesota Department of Transportation Research Services Section.

Elkington, J. (1998). *Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. *Environmental Quality Management*, 8(1), 37-51.

Etxeberria, M., Gonzalez-Corominas, A., & Galindo, A. (2016). Estudio de la aplicación del árido reciclado mixto en hormigón poroso y como relleno de zanjas en la ciudad de Barcelona. *Informes de la Construcción*, 68(542), ISSN 1988-3234, Departamento de Publicaciones del CSIC, doi:10.3989/ic.15.062

Eurostat, the statistical office of the European Union (2017). *Estatísticas dos resíduos*. Recuperado em 1 de maio, 2018, de http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics/pt.

Gabr, A. R., & Cameron, D. A. (2012). Properties of Recycled Concrete Aggregate for Unbound Pavement Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(6), 754-764, ISSN 0899-1561, American Society of Civil Engineers (ASCE), doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000447

Gupta, N., Kluge, M., Chadik, P. A., & Townsend, T. G. (2018). Recycled concrete aggregate as road base: Leaching constituents and neutralization by soil Interactions and dilution. *Waste Management*, 72, 354-361, ISSN 0956-053X, Elsevier BV, doi:10.1016/j.wasman.2017.11.018

Haider, I., Cetin, B., Kaya, Z., Hatipoglu, M., Cetin, A., & Ahmet, H. A. (2014). Evaluation of the mechanical performance of recycled concrete aggregates used in highway base layers. In *Geo-Congress 2014: Geo-characterization and Modeling for Sustainability*, 3686-3694.

Hernandez, A. V., Botero, L. F. B., & Arango, D. C. (2015). Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. *Ingeniería y Ciencia*, 11(21), 197-220, ISSN 1794-9165, Universidad EAFIT, doi:10.17230/ingciencia.11.21.10

Lauritzen, E.K (1998). Emergency construction waste management. *Safety Science*, 30(1), 45-53, ISSN 0925-7535, Elsevier BV, doi:10.1016/s0925-7535(98)00032-0

Lei n. 9.966, de 28 de BRIL de 2010 (2010). Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. Recuperado em 2 de maio, 2018, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9966.htm.

Lei n. 12.305, de 6 de junho de 2000 (2000). Altera a Lei n. 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Recuperado em 2 de maio, 2018, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9974.htm

Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (2007). Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Recuperado em 2 de maio, 2018, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm



Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010 (2010). Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Recuperado em 2 de maio, 2018, de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm

Ley n. 10, de 21 de abril de 1998 (1998). De resíduos. Recuperado em 4 de maio, 2018, de <https://www.boe.es/boe/dias/1998/04/22/pdfs/A13372-13384.pdf>

Ley n. 16, de 1 de julho de 2002 (2002). Para a prevenção e controle integrados da contaminação. Recuperado em 4 de maio, 2018, de <https://www.boe.es/boe/dias/2002/07/02/pdfs/A23910-23927.pdf>.

Ley n. 22, 28 de julho 2011(2011). De resíduos e solos contaminados. Recuperado em 4 de maio, 2018, de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2011/BOE-A-2011-13046-consolidado.pdf>.

Ley n. 5, de 11 de junho de 2013 (2013). Pela que se modificam a Lei n. 16 de 1 de julho de 2002, para a prevenção e controle integrados da contaminação e a Lei n. 22, de 28 de julho de 2011, de resíduos e solos contaminados. Recuperado em 4 de maio, 2018, de <https://www.boe.es/boe/dias/2013/06/12/pdfs/BOE-A-2013-6270.pdf>.

Macozoma, D.S. (2002). *Construction site waste management and minimization: international report*. International Council for research and innovation in buildings (CIB). Recuperado em 1 de maio, 2018, de <http://site.cibworld.nl/dl/publications/Pub278/06Construction.pdf>.

Marrero, M., Martínez-Escobar, L., Mercader, M. P., & Leiva, C. (2013). Minimización del impacto ambiental en la ejecución de fachadas mediante el empleo de materiales reciclados. *Informes de la Construcción*, 65(529), 89-97, ISSN 1988-3234, Departamento de Publicaciones del CSIC, doi:10.3989/ic.11.034

Muñoz, A. D. L. Á. R. (2013). Reparto de competencias medioambientales entre la Unión Europea y los Estados miembros= Sharing of environmental competences between the European Union and the member States. *Revista de Derecho de la UNED (RDUNED)*, (12).

Norma 6.1 IC do Ministerio de Fomento, de 28 de novembro de 2003. Secciones de Firme, de la Instrucción de Carreteras. Recuperado em 1 de maio, 2018, de <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/83B68E89-3CD8-4246-B28B-2BBA01D95AD8/55775/1010100.pdf>.

Organization for Economic Co-operation and Development (n.d.). *Generation of waste by sector*. Recuperado de <http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=MUNW#>.

Osmani, M. (2011). Construction Waste. *Waste*, 207-218, Elsevier, doi:10.1016/b978-0-12-381475-3.10015-4

Osmani, M., Glass, J., & Price, A.D.F. (2008). Architects' perspectives on construction waste reduction by design. *Waste Management*, 28(7), 1147-1158, ISSN 0956-053X, Elsevier BV, doi:10.1016/j.wasman.2007.05.011

Ossa, A., García, J.L., & Botero, E. (2016). Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. *Journal of Cleaner Production*, 135, 379-386, ISSN 0959-6526, Elsevier BV, doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.088

Park, M., & Peña-Mora, F. (2003). Dynamic change management for construction: introducing the change cycle into model-based project management. *System Dynamics Review*, 19(3), 213-242, ISSN 0883-7066, Wiley-Blackwell, doi:10.1002/sdr.273



- Paschoalin Filho, J.A.; & Graundez, G. (2012) Destinação irregular de resíduos de construção e demolição (RCD) e seus impactos na saúde coletiva. *RGSA-Revista de Gestão Social e Ambiental*, v.6, n.1, 127-142.
- Paschoalin Filho, J. A, Storopoli, J. H, Dias, A. J. G, & E.B.L.Duarte (2015). Gerenciamento de resíduos de demolição gerados nas obras de um edifício localizado na zona leste da cidade de São Paulo/SP. *Revista Desenvolvimento em Questão*. 30 (13), 265-305. Editora Unijuí
- Paschoalin Filho, J. A., Storopoli, J. H. & Duarte, E. B. L. (2014). 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. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental - REGET/UFMS*, 18(2), 928-943, ISSN 2236-1170, Universidade Federal de Santa Maria, doi:10.5902/2236117013750.
- Pereira, E., Medeiros, M. H. F. de, & Levy, S. M. (2012). Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. *Ambiente Construído*, 12(3), 125-134, ISSN 1678-8621, FapUNIFESP (SciELO), doi:10.1590/s1678-86212012000300009
- Pérez, I., Gallego, J., Toledano, M., & Taibo, J. (2010). Asphalt mixtures with construction and demolition debris. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Transport*, 163(4), 165-174, ISSN 0965-092X, Thomas Telford Ltd., doi:10.1680/tran.2010.163.4.165
- Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022, de 16 de noviembre de 2015* (2015). Recuperado em 4 de maio, 2018, de http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/planes-y-estrategias/pemaprobad06noviembrecondae_tcm30-170428.pdf
- Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008- 2015, de 20 de janeiro de 2009* (2009). Recuperado em 4 de maio, 2018, de <https://www.boe.es/boe/dias/2009/02/26/pdfs/BOE-A-2009-3243.pdf>
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)* (2017). Madrid: Series Normativas del Ministerio de Fomento. Recuperado em 1 de maio, 2018, de <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/454B4B3E-6205-4163-A199-3238D6137C60/141038/INDICE.pdf>.
- Poon, C.S. (2007). Management of construction and demolition waste. *Waste Management*, 27(2), 159-160, ISSN 0956-053X, Elsevier BV, doi:10.1016/j.wasman.2006.10.012
- Real Decreto n. 105, de 1 de febrero de 2008* (2008). Para a regulação da produção e gestão dos RCC. Boletín Oficial del Estado Español. Recuperado em 6 de maio, 2018, de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2008/BOE-A-2008-2486-consolidado.pdf>.
- Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002* (2002). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da Construção Civil. Recuperado em 10 de maio, 2018, de <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>.
- Resolução n. 348, de 16 de agosto de 2004* (2004). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Alterado o inciso IV do art. 3º da Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002. Recuperado em 10 de maio, 2018, de <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=449>.
- Resolução n. 431, de 24 de maio de 2011* (2011). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Alterados os incisos II e III do art. 3º da Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002. Recuperado em 10 de maio, 2018, de <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=649>.



Resolução n. 448, de 18 de janeiro de 2012 (2012). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Altera os artigos 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 e revoga os artigos 7º, 12 e 13 da Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002. Recuperado em 10 de maio, 2018, de <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=672>.

Resolução n. 469, de 30 de julho de 2015 (2015). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Altera o inciso II do art. 3º e inclui os § 1º e 2º do art. 3º da Resolução n. 307, de 5 de julho de 2002 e Resolução n. 431, de 24 de maio de 2011. Recuperado em 10 de maio, 2018, de <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=714>.

Sriravindrarajah, R., Wang, N. D. H., & Ervin, L. J. W. (2012). Mix Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 6(4), 239-246, ISSN 1976-0485, Springer Nature, doi:10.1007/s40069-012-0024-x

Thomas, C., Setién, J., Polanco, J.A., Alaejos, P., & Juan, M. Sánchez de (2013). Durability of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 1054-1065, ISSN 0950-0618, Elsevier BV, doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.11.106

Townsend, T. G., Chadik, P., Gupta, N., Kluge, M., Vinson, T., & Schert, J. (2016). *Concrete debris assessment for road construction activities*. University of Florida, Florida Department of Transportation. Recuperado em 10 de maio, 2018, de http://www.fdot.gov/research/Completed_Proj/Summary_SMO/FDOT-BDV31-977-48-rpt.pdf

Ulsen, C., Kahn, H., Hawlitschek, G., Masini, E.A., Angulo, S.C., & John, V.M. (2013). Production of recycled sand from construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, 40, 1168-1173, ISSN 0950-0618, Elsevier BV, doi:10.1016/j.conbuildmat.2012.02.004

United States of America Environmental Protection Agency (2016). *Advancing Sustainable Materials Management: 2014 Fact Sheet*. Washington: Autor. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-11/documents/2014_smmfactsheet_508.pdf.

Vegas, I., Ibañez, J.A., José, J.T. San, & Urzelai, A. (2008). Construction demolition wastes, Waelz slag and MSWI bottom ash: A comparative technical analysis as material for road construction. *Waste Management*, 28(3), 565-574, ISSN 0956-053X, Elsevier BV, doi:10.1016/j.wasman.2007.01.016

Wu, Z., Yu, A. T.W., Shen, L., & Liu, G. (2014). *Quantifying construction and demolition waste: An analytical review*. *Waste Management*, 34(9), 1683-1692, ISSN 0956-053X, Elsevier BV, doi:10.1016/j.wasman.2014.05.010.

Yaghoubi, E., Disfani, M. M., Arulrajah, A., & Kodikara, J. (2018). Impact of compaction method on mechanical characteristics of unbound granular recycled materials. *Road Materials and Pavement Design*, 19(4), 912-934.

Yin, R.K. (2015) *Estudo de caso: Planejamento e Métodos*. 5ª edição. Ed. Bookman. Porto Alegre.

Yuan, H. (2013). Critical Management Measures Contributing to Construction Waste Management: Evidence From Construction Projects in China. *Project Management Journal*, 44(4), 101-112, ISSN 8756-9728, Wiley, doi:10.1002/pmj.21349

Yuan, H., & Shen, L. (2011). Trend of the research on construction and demolition waste management. *Waste Management*, 31(4), 670-679, ISSN 0956-053X, Elsevier BV, doi:10.1016/j.wasman.2010.10.030