



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

BLOCOS INTERTRAVADOS MANUFATURADOS COM CONCRETO DOSADO UTILIZANDO-SE RESÍDUOS DE PET (Politereftalato de Etileno): ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

GISELLE WALDTRAUT MATHES ORCIOLI PIRES
jalexandre@uninove.br

JOÃO ALEXANDRE PASCHOALIN FILHO
Universidade Nove de Julho - Uninove
jalexandre@uninove.br

BLOCOS INTERTRAVADOS MANUFATURADOS COM CONCRETO DOSADO UTILIZANDO-SE RESÍDUOS DE PET (Politereftalato de Etileno): ASPECTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

Resumo

O setor da construção civil é responsável pelo consumo de grandes volumes de recursos naturais não renováveis, além de gerar impactos ambientais significativos, que se iniciam desde a extração da matéria prima natural para a fabricação de materiais de construção e se estendem até a geração de resíduos provenientes de obras, demolições e reformas. Diante desta situação, formas de manejo dos resíduos gerados, novas ferramentas de gestão e inovações tecnológicas com o desenvolvimento de materiais de construção de baixo impacto ambiental, têm sido a tônica nas discussões técnicas e científicas promovidas pelo setor da construção. Dessa forma, este trabalho apresenta os custos de produção de um bloco de pavimento intertravado, manufaturado com parte de seus agregados naturais substituídos por resíduos de PET advindos da moagem de garrafas de água mineral, comparando-o com os custos envolvidos na confecção de um bloco intertravado convencional, além de demonstrar seus respectivos ganhos ambientais. De uma forma geral, o bloco fabricado com resíduos de PET apresentou custos de produção pouco superiores ao necessário para a produção do bloco convencional, contudo este apresenta diversas vantagens ambientais tais como: redução do consumo de matéria prima, destinação alternativa para resíduos de PET, permeabilidade, entre outros.

Palavras-chave: Construções sustentáveis, sustentabilidade, construção civil, reciclagem.

Abstract

The civil construction industry is responsible for consumption of large amounts of non-renewable natural resources, as well as generating significant environmental impacts that start from the extraction of natural raw material for the manufacture of building materials and extend to the generation of waste from construction, demolition and renovation. In this situation, management forms of waste generated, new management tools and technological innovations with the development of low environmental impact construction materials, have been the tonic in the technical and scientific discussions promoted by the construction sector. Thus, this paper presents the production costs of an interlocked pavement block, manufactured with part of their natural aggregates replaced by PET waste arising from grinding bottles of mineral water, comparing it with the costs involved in making a block conventional interlocked, besides demonstrating their environmental gains. In general, the manufactured block with waste PET showed low production cost higher than necessary for producing the conventional block, however this presents several environmental benefits such as reduction of consumption of raw material, for alternative disposal PET waste, permeability, among others.

Keywords: Green building, sustainability, construction, recycling.

1 Introdução

A construção civil consiste em uma das atividades industriais mais fortemente relacionadas com o desenvolvimento e o crescimento de um país. De acordo com dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2014), o Produto Interno Bruto (PIB) da construção civil apresentou crescimento no ano de 2010 de 11,6%, um valor superior ao crescimento do PIB brasileiro que se manteve em 7,5%.

Apesar do PIB setorial da construção civil ter sofrido uma queda nos anos de 2011 e 2012, este continuou mantendo-se acima do PIB brasileiro. Apenas no ano de 2013 a taxa de crescimento do setor da construção se manteve abaixo do crescimento brasileiro, fechando no patamar de 1,6%, acompanhando o baixo crescimento do país. Em contrapartida, no início do ano de 2014, as vendas de materiais de construção no varejo registraram um significativo aumento no mês de fevereiro, em relação ao mês de janeiro do mesmo ano, de 2,2%. Comparando com o mês de fevereiro do ano anterior, as vendas aumentaram em 16,6%. Com esse resultado, o volume de vendas do segmento acumulou variação positiva de 10,1% no ano de 2013, índice superior às vendas acumuladas no comércio (CBIC, 2014).

Mesmo a construção civil tendo apresentado nos últimos meses certa desaceleração, este setor continua sendo o responsável por consumir grande parte dos recursos naturais disponíveis e gerar impactos ambientais significativos por toda sua cadeia produtiva. Segundo Safiuddin, Jumaat, Salam, Islam, e Hashim (2010) e Paschoalin Filho e Graudenz (2012) os impactos ambientais causados pela construção civil causam o esgotamento dos recursos naturais não renováveis e promovem a emissão de gases de efeito estufa, que são gerados e liberados para a atmosfera durante o processo de fabricação dos materiais de construção, influenciando na saúde humana. Tal situação, de acordo com Pereira, de Medeiros e Levy, (2012), ressalta a necessidade de criação de práticas construtivas e ferramentas de gestão que mitiguem os impactos ambientais causados pela indústria da construção, decorrentes de suas atividades produtivas. Ar (2012) destaca o papel das Inovações Tecnológicas no setor da construção como importante forma de inserção da variável ambiental em suas atividades, colaborando para a sustentabilidade do setor.

Diante desta preocupação, diversos trabalhos técnicos e científicos vêm sendo desenvolvidos por pesquisadores no intuito buscar a redução dos impactos ambientais causados pela manufatura dos materiais de construção, como exemplo, pode-se citar: o estudo de concretos utilizando a adição de resíduos de borracha de pneus e casca de arroz (Barbosa, Pereira, Akasaki, Fioriti, Fazzan, & Melges, 2013), utilização de lodo advindo de estações de tratamento de água na confecção de tijolos (Rodrigues & Holanda, 2013), incorporação de resíduos de PET na dosagem de concretos (Saikia & De Brito, 2014) e argamassas (Duarte, 2013), entre outros. Dessa forma, pode-se afirmar que a Inovação Tecnológica na construção civil vem conseguindo efetivo destaque como uma importante ferramenta na minimização dos impactos ambientais, criando métodos para atender as certificações e diretrizes da gestão de resíduos.

Dentro deste contexto, esta pesquisa apresenta a comparação entre os custos de produção de um bloco de concreto intertravado produzido com resíduos de PET em flocos (em substituição, em parte, dos agregados naturais), e um bloco de concreto usual, bem como são discutidas as vantagens ambientais deste material alternativo em relação ao convencional.

2 Referencial Teórico

2.1 A construção civil e os impactos ambientais gerados

Apesar da importância da construção civil para o desenvolvimento do país, os impactos negativos causados pela sua cadeia produtiva são significativos (Paschoalin Filho, Guerner Dias, Cortes & Duarte, 2014). Segundo Paschoalin Filho & Graudenz (2012), estes impactos são responsáveis por promover degradações no meio ambiente que em algumas situações tornam-se irreversíveis. Elas ocorrem tanto na extração de matéria prima não renovável utilizada como insumo na fabricação de materiais para a construção civil, quanto na deposição irregular dos resíduos ocasionados pela atividade. Dentre os impactos citados por Amadei, Pereira, Souza e Meneguetti (2012) e Paschoalin Filho & Graudenz (2012) estão: a extinção das jazidas naturais não renováveis, mudança da paisagem, erosão do solo, desmatamento desordenado, emissão de gases poluentes na atmosfera e de efluentes e a poluição sonora.

Além dos impactos causados na obtenção das matérias primas naturais, a construção civil também é responsável por uma grande quantidade de resíduos gerados durante as fases de construção, reformas, demolição (Amadei *et al.*, 2012). Para Segatini e Wada (2011) o vultoso volume de resíduos gerados nas etapas construtivas demonstra uma grande perda na utilização de materiais não renováveis como a areia, brita, cimento, madeira. Este fato é comprovado por Silva & Fernandes (2012) que apontam que 50% dos recursos naturais existentes é utilizado na construção civil.

Diversos trabalhos versam sobre os impactos ambientais causados pela indústria da construção, desde a extração da matéria prima, passando pela utilização dos materiais de construção até a disposição final do seu resíduo gerado, dentre os trabalhos pode-se citar Araújo e Günter (2007) que descrevem a importância da utilização de caçambas coletoras, para acondicionar os resíduos de construção e demolição gerados como uma maneira de diminuir a poluição ambiental e evitar a degradação de áreas evitando contaminações do solo, do meio ambiente e protegendo a saúde coletiva no meio urbano.

Motta e Aguilar (2009) defendem que consumo excessivo de recursos naturais e a consequente geração excessiva de resíduos provém da necessidade crescente que a população possui de se estabelecer ou de buscar melhorias em seu padrão ou modo de vida, como contrapartida surge o impacto ambiental que a indústria da construção gera com o esgotamento da matéria prima não renovável, a ampliação das áreas degradadas a poluição ambiental e os danos à saúde coletiva.

Segundo Paschoalin Filho, Storopoli & Duarte (2014), a ineficiência de políticas públicas direcionadas à solução da deposição dos resíduos, aliadas ao consumo excessivo de recursos naturais e ao desperdício dos materiais de construção, fazem com que este ramo de atividade seja uma das que mais geram resíduos sólidos no Brasil. Amadei, Pereira, Souza e Meneguetti (2012), salientam que a geração de resíduos de construção vem crescendo globalmente, na mesma proporção que este mercado aumenta a necessidade de consumo de matérias primas para uso na fabricação de materiais que atendam a demanda de novas obras ou da adequação das existentes.

Marzouk, e Azab, (2014) afirmam que os resíduos de construção e demolição têm gerado problemas cada vez mais graves nas esferas social, ambiental e econômica. A ausência de controle na correta disposição destes resíduos vem prejudicando o meio ambiente, contribuindo para o aumento do consumo de energia, e o esgotamento dos recursos finitos e dos aterros.

Como maneira de mitigar estes problemas ambientais, a construção civil, vem investindo na reciclagem dos resíduos gerados. De acordo com Marzouk, e Azab, (2014) a reciclagem de resíduos de construção e demolição leva a reduções significativas nas emissões

de gases, no uso de energia, além de economizar espaço em aterros, quando comparada a prática de simples disposição de resíduos nos aterros, além disso, o custo de mitigação do impacto do descarte é extremamente elevado e, por este motivo é mais interessante reciclar o resíduo de construção e demolição ao invés de simplesmente descartá-lo.

2.2 Inovações tecnológicas no gerenciamento dos resíduos de construção civil

O aumento da população tem ampliado a necessidade de construção ou melhorias nas áreas de infraestruturas, moradia, urbanização e, com isto, surge o aumento da demanda por materiais de construção como: aço, concreto, cimento, tijolos e revestimentos, o que implica em um aumento de consumo das matérias primas para sua produção (Madurwar, Ralegaonkar & Mandavane, 2013).

Segundo Ar (2012), a construção civil consiste em um grande consumidor de matéria prima não renovável, e nesta direção, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais decorrentes das atividades do setor e atender às legislações vigentes, surge a necessidade de desenvolvimento de inovações tecnológicas que atendam a tais premissas. Na visão de Côrtes, França, Quelhas, Moreira e Meirinho (2011), a sustentabilidade na construção civil, cada vez mais, se associa à capacidade de inovação das empresas construtoras, que apostam no conhecimento e modernização de seus processos gerenciais.

Com incremento das atividades da construção civil para atender as demandas do crescimento populacional, e também com o aumento das demolições de antigas edificações para abrigar novos empreendimentos, surgiu uma preocupação com os resíduos que são gerados nestas atividades. Segundo Pereira, Medeiros e Levy (2012) muitos países têm estudado a possibilidade de reaproveitamento destes resíduos em substituição aos materiais naturais empregados na indústria da construção, possibilitando economia na aquisição de matéria prima e preservação das reservas naturais.

Este conceito, segundo Tam (2009), pode ser aplicado às inovações tecnológicas que insiram resíduos industriais na manufatura de novos materiais de construção. A autora comenta que o reaproveitamento de resíduos na fabricação de novos produtos contribui para um desempenho sustentável da indústria da construção civil, uma vez que pode dar início uma cadeia produtiva baseada no conceito de *triple bottom line*.

Inovações tecnológicas sustentáveis na obtenção de novos materiais de construção apresentam-se como uma interessante alternativa para a mitigação dos impactos ambientais causados pela construção civil. A incorporação de resíduos na fabricação de materiais de construção, substituindo parte da matéria prima natural, além de garantir correta destinação destes, proporciona uma alternativa sustentável para o setor (Pappu, Saxena, & Asolekar, 2007).

Outro fator importante no incentivo a incorporação de resíduos na manufatura de materiais de construção consiste na escassez crescente de matéria prima natural, além do alto preço da energia. Partindo destes princípios, a utilização de matéria prima alternativa na produção dos materiais de construção consiste em um conceito global gerando uma busca por produtos sustentáveis e amigáveis ao meio ambiente (Safiuddin, M., Jumaat, M. Z., Salam, M. A., Islam, M. S., & Hashim, R., 2010).

Como uma forma de destinação dos resíduos sólidos, tem-se desenvolvido técnicas de reciclagem aplicada à engenharia civil. Este conceito já vem sendo utilizado e vem sofrendo um considerável desenvolvimento já a um longo tempo. Como exemplos, já em utilização, pode-se citar a utilização dos seguintes resíduos industriais na obtenção de materiais de construção civil: cinza volante, a escória de alto forno, agregados reciclados de concreto, lama vermelha, resíduo da produção de celulose, resíduo de chá, etc., tal como se observa na Figura 1 adaptada a partir de Safiuddin, Jumaat, Salam, Islam, e Hashim (2010), Taaffe, J.,

O'Sullivan, S., Rahman, M. E. e Pakrashi, V (2014) e Pappu, A., Saxena, M., e Asolekar, S. R. (2007).

Procedência	Tipo de Resíduo Sólido	Reciclagem e uso
Agricultura (orgânicos)	Palha e casca de trigo e arroz, resíduo de serração, casca de amendoim, juta, sisal, haste do algodão, resíduos de vegetais.	Placas de cimento, painéis de partículas, placas de isolamento, painéis de parede, telhas, maderite, tijolos, cimento, polímeros.
Resíduo Industrial (inorgânico)	Resíduos da queima do carvão, escória de alto forno, resíduo de bauxita, resíduos de construção.	Tijolos, blocos, telhas, azulejos, cimento, tinta, agregado miúdo e graúdo, concreto, substitutos de produtos de madeira, produtos cerâmicos.
Mineração/ resíduos minerais	Carvão, resíduos de mineração de ferro, zinco, alumínio.	Tijolos, agregados graúdos e miúdos leves, azulejos.
Resíduos não perigosos	Resíduo de gesso, lama de cal, cacos de cerâmica e vidro, resíduos de corte mármore.	Blocos, tijolos, clínquer, manta hidráulica, placas de gesso, gesso.
Resíduos perigosos	Resíduos de galvanização, resíduos metalúrgicos, lodo.	Placas, tijolo, cimento, cerâmicas, azulejos.

Figura 1. Diferentes tipos e procedências de resíduos sólidos e sua utilização na manufatura de materiais de construção.

Fonte: adaptado pelos autores a partir de Safiuddin, Jumaat, Salam, Islam, e Hashim., (2010), Pappu et al., (2007) e Taaffe, J., O'Sullivan, S., Rahman, M. E. e Pakrashi, V (2014).

De acordo com a Figura 1, diversos tipos de resíduos, provenientes de várias cadeias produtivas, já estão sendo utilizados na fabricação de materiais de construção alternativos. Soto Izquierdo e Ramalho, (2014), ressaltam o empenho de pesquisadores na busca de novas matérias primas renováveis para manufatura dos materiais de construção, e o interesse na aplicação destes na construção civil, principalmente em países em desenvolvimento. Os autores comentam, como exemplo, a viabilidade da inserção de resíduos sólidos urbanos incinerados, cinza de bagaço de cana de açúcar e fibra de sisal na fabricação de argamassas e concretos como forma de dirimir os impactos ambientais causados por estes resíduos.

Costa, Gumieri e Galvão, (2014) e Taguchi, Santos, Gomes e Cunha, (2014), desenvolveram trabalhos os quais constataram a viabilidade técnica de utilização de resíduos de mineração e corte de rocha na obtenção de blocos e massa cerâmica respectivamente, consistindo em uma forma de destinação alternativa para estes resíduos. Fioriti, Ino e Akasaki, (2007), estudaram a incorporação de resíduos de borracha de recauchutagem de pneus na confecção de concreto para blocos de pavimento intertravado. Além das vantagens ambientais identificadas, os autores também comprovaram a viabilidade técnica e econômica destes. Em relação a resíduos de PET, diversos autores vêm estudando formas de inserção destes na construção civil, incorporando-os na manufatura de diferentes materiais de construção, dentre estes se podem citar as pesquisas conduzidas por Choi, Moon, Chung e Cho, (2005); Choi, Moon, Kim e Lachemi (2009).

Pacheco-Torgal, Ding, e Jalali (2012), Taaffe, O'Sullivan, Rahman e Pakrashi (2014) avaliam que o setor da construção civil possui grande potencial para inserção de resíduos de PET em sua cadeia produtiva, primeiro por sua grande necessidade de consumo de materiais e segundo pela demanda de grandes volumes de matéria prima renovável. Este tema é aceito e discutido por vários autores no Brasil e em outros países do mundo. Diversos estudos foram publicados e abordam a utilização do PET como inserção nos produtos da construção civil.

Taaffe, O'Sullivan, Rahman e Pakrashi (2014), comprovaram a viabilidade técnica e econômica da confecção de tijolos utilizando-se garrafas PET preenchidas com resíduos plásticos. Estes tijolos foram denominados de *Eco-Bricks*, e consistem, de acordo com os autores como uma alternativa ao tijolo convencional de alvenaria de fechamento. Para avaliação destes tijolos, os autores conduziram ensaios de compressão, isolamento acústico e avaliação de transmissão de luz.

Akçaözöğlü, Atiş e Akçaözöğlü, (2010), estudaram a utilização de resíduos triturados de garrafas PET como agregado na confecção de concreto. Os autores relatam que os testes foram feitos confeccionando três dosagens de argamassas distintas: a primeira contendo apenas o PET em substituição ao volume total do agregado natural, a segunda contendo uma parte de areia e uma parte de PET no volume total do agregado e a terceira substituindo 50% do total de cimento por escória de alto forno. Após ensaios de resistência à compressão e análise das propriedades das argamassas foi constatado que aquelas contendo PET e escória puderam ser enquadradas como concreto estrutural leve. Assim, os autores constataram que a utilização do PET no concreto, além de diminuir o impacto ambiental que os resíduos de PET poderiam ocasionar, conduziu a execução de uma estrutura com menor peso próprio.

Duarte (2013) demonstrou em seu estudo a viabilidade da utilização dos resíduos de construção e demolição e resíduos de garrafas PET na confecção de argamassas. O autor concluiu que todas as argamassas produzidas apresentaram-se como uma boa alternativa para a execução de artefatos decorativos, calçamento de passeios, guias, sarjetas, dentre outros. Também se verificou uma alta permeabilidade desta argamassa, denotando uma alta capacidade drenante do material, podendo esta ser apropriada para áreas expostas as intempéries.

Modro, N., Modro, N., Modro, N., e Oliveira, A. (2009), estudaram a influência que a adição do resíduo de PET teria no concreto de cimento Portland. Após ensaios de resistência à compressão e a análise das características do concreto fresco, foi possível concluir que na medida em que se aumentava a porcentagem de PET, menor era o valor da resistência. Em face do exposto, os autores concluíram que dosagens de concreto, com substituição de agregados naturais por resíduos de PET, podem ser utilizadas no segmento da construção civil na confecção de artefatos não estruturais de concreto, alvenaria de fechamento, capas de lajes e material de preenchimento.

Dessa forma, é permitido concluir, por meio do grande volume de relatos de pesquisas conduzidas, tanto no Brasil, como no exterior, que o meio técnico e científico vêm apresentando significativa preocupação com a inserção da variável ambiental na construção civil por meio do desenvolvimento de inovações tecnológicas. A utilização de resíduos na manufatura de materiais de construção, além de consistir em uma forma alternativa interessante para a destinação final destes, promove a redução da necessidade de extração de matérias primas naturais, insere na cadeia produtiva um resíduo que seria descartado, agregando valor a este.

2.3 A problemática dos resíduos de PET no meio ambiente

Antes da revolução industrial, praticamente todo o resíduo gerado pela população era orgânico. Este resíduo era descartado no próprio solo que o reprocessava e reabsorvia e, desta forma, mantinha-se o ciclo biogeoquímico do meio ambiente local. Após o marco da revolução industrial houve gradativamente uma oferta de novos e diferentes tipos de produtos à população e como consequência surgiu a necessidade de destiná-los corretamente, porém a velocidade de produção e a oferta destes novos produtos mostrava-se tão rápida que o descarte destes tornou-se um grande problema ao meio ambiente que começou a sofrer com esta mudança, e a dar sinais de problemas e de degradações ambientais (Barbieri, 2012).

O aumento da população, em conjunto com a grande urbanização aliados ao aumento de consumo de bens advindos de novas tecnologias, têm gerado uma mudança no estilo de vida da população, contribuindo para o aumento da geração de resíduos sólidos (Jacobi & Besen, 2011; Gouveia, 2012; Paschoalin Filho & Graudenz, 2012).

Os centros urbanos, caracterizados pela grande densidade populacional, sofrem com a falta de áreas adequadas à correta destinação de seus resíduos sólidos. As disposições inadequadas, em vias e locais públicos, nas beiras de rios e córregos, causam impactos socioambientais como: a degradação do solo, o comprometimento dos mananciais, obstrução de veios de água (gerando a intensificação de enchentes), contribuição para a poluição do ar e a disseminação de pragas e doenças nos centros urbanos (Besen, Günther, Rodriguez & Brasil, 2010; Paschoalin Filho & Graudenz, 2012). Aliado aos itens expostos, pode se acrescentar a piora da problemática do resíduo sólido no que tange às faltas tanto da aplicação de políticas públicas quanto da gestão adequada de resíduos (Paschoalin Filho & Graudenz, 2012).

O resíduo de PET é responsável por 10 a 20% de todo o RSU coletados, e mesmo quando destinado corretamente em aterros regularizados é inevitável a ocorrência de impactos ambientais como a impermeabilização que ele causa nas camadas em decomposição do aterro prejudicando a percolação de gases e líquidos, a liberação de gases tóxicos e cancerígenos, o grande volume que este resíduo ocupa nos aterros além do prejuízo a drenagem urbana pois seu acúmulo piora a situação de enchentes. A destinação do PET para a reciclagem pode dirimir diversos impactos como os efeitos da sua disposição nos aterros que além de acarretar melhorias nas áreas ambientais, econômicas e sociais como geração de empregos, a inserção social dos catadores, a diminuição dos problemas ambientais, a economia de recursos naturais, a redução dos custos de manejo, a redução do consumo de energia dentre outros (Shen, Worrell, & Patel, 2010; Coelho, Castro, & Gobbo, 2011 ; Hamad, Kaseem, & Deri, 2013; Welle, 2013)

Para dirimir os impactos ambientais que o PET causa ao meio ambiente, Frigione (2010) sugere que este material seja reciclado, com os benefícios não se restringindo a esfera ambiental, mas também às esferas econômica e social. O autor explica que, o benefício social é alcançado com o desenvolvimento de uma cadeia produtiva que destine o resíduo coletado para a reciclagem e que a reciclagem promove um ganho na diminuição do consumo de energia, pois o processo de reciclagem utiliza em média 30% da energia que seria necessária ao processamento da resina virgem, com a vantagem que este processo não altera as propriedades do produto final.

Atualmente o PET reciclado já é utilizado como matéria prima em diversos produtos e segmentos da indústria como: a têxtil, a de embalagem para alimentos e não alimentos, fitas de arquear, resina insaturada e alquídicas, laminados e chapas, tubos dentre outros e com perspectivas de crescimento, apenas limitado pela dificuldade de captação do resíduo e seu destino às recicladoras, pois toda a cadeia de reciclagem está baseada na captação deste material onde o principal protagonista corresponde as cooperativas de catadores que coletam este material de diversos ambientes e os destinam adequadamente nas usinas de reciclagem que por sua vez compram este resíduo a um valor competitivo de maneira a promover a geração de renda para este segmento (ABIPET, 2013; Coelho, Castro, & Gobbo, 2011).

3 Metodologia

Para a determinação dos custos de produção foram considerados dois tipos de bloco intertravado de concreto, sendo um convencional (manufaturado com concreto usual) e outro obtido a partir da inserção de PET em flocos na sua dosagem (em substituição ao agregado).

Na obtenção das quantidades dos agregados componentes dos concretos que confeccionaram os blocos, de forma a poder calcular os custos de obtenção destes, foi escolhido traço normalmente utilizado de concreto para o bloco convencional e, para o bloco alternativo, foi considerado o traço de concreto obtido por Pires (2015), a qual comprovou a viabilidade técnica desta mistura de acordo com as recomendações da norma ABNT:NBR 9781/2013, tal como apresentado na Tabela 1. Ressalta-se que para a aprovação do material proposto, bloco de concreto com PET, foi necessário atender aos requisitos técnicos de resistência a compressão, tolerâncias dimensionais e absorção de água especificados nesta norma. Os traços dos concretos utilizados na manufatura dos blocos estão apresentados na Tabela 2. A Figura 2 apresenta o aspecto dos blocos estudados.

Tabela 1:

Requisitos da ABNT: NBR 9781/2013 para aceitação da amostra de bloco de concreto para pavimento

Critérios da ABNT: NBR 9781/2013 para avaliação da viabilidade técnica			
Item analisado	Parâmetros da norma	Resultados obtidos	
		Sem PET	Com PET
Inspeção Visual	Devem apresentar aspectos homogêneos	Atende	Atende
Dimensões e tolerâncias das peças	Deve atender quanto a medida nominal de: Comprimento c = máximo 250mm Largura l= mínimo 97 mm Espessura e= mínimo 60 mm	c= 240 l= 105 e= 80	c= 240 l= 105 e= 80
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35 MPa	38,5 MPa	40,5 MPa
Absorção de água	Deve apresentar valor médio $\leq 6\%$	5,0	4,9

Fonte: Pires (2015)

Tabela 2:

Traços utilizados para a confecção dos blocos intertravados em estudo

Traços Definitivos				
Materiais	Bloco convencional		Bloco alternativo	
	Sem adição de PET		Com adição de 33,8% PET	
	kg/m ³	l/m ³	kg/m ³	l/m ³
Cimento Portland CPV ARI	336	111,6	357	118,9
Areia 1-Quartzo	337	126,7	154	57,9
Areia 2- Britada	505	189,1	364	136,3
Brita 1	1005	375	721	269
PET em flocos	0	0	72,2	235,9
Água	197	197	175	175
Aditivo 1 (0,6%-SMC)	0	0	2,142	2,142
Aditivo 2 (0,2% -SMC)	0	0	0,714	0,714
Slump (mm)	105		100	
Relação a/c	0,586		0,490	
Ar Incorporado	1,2		1,1	

Fonte: Pires (2015)

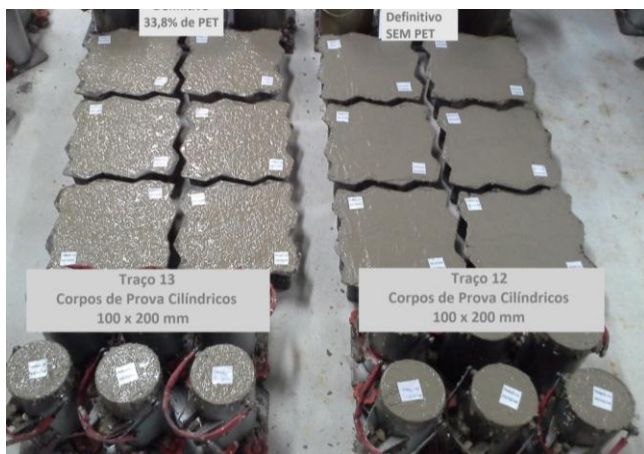


Figura 2. Aspecto dos blocos intertravados em estudo
Fonte: Pires (2015)

Para a elaboração da estimativa do custo de produção do bloco de concreto dosado com PET e do bloco de concreto sem PET foram considerados alguns fatores relevantes ao processo produtivo destes, tais como: i) os valores dos insumos considerados restringiram-se à cidade de São Paulo; ii) os custos referentes à mão de obra não foram considerados por não terem relevância para este estudo, uma vez que, entende-se que a simples substituição de agregados não impactaria nos custos da mão de obra; iii) o valor do resíduo de PET foi obtido na usina que cedeu o material para a pesquisa; iv) para os demais insumos foi escolhido a tabela de índices e custos publicados editora PINI, por ser esta considerada uma referência para obtenção de preços na indústria da construção civil; v) a data base dos preços foi dezembro de 2014; vi) os preços considerados são postos em obra ou seja independem do valor de frete.

Na sequência foi realizada uma estimativa dos possíveis ganhos ambientais do bloco de concreto intertravado com PET em relação ao bloco convencional (sem adição de PET). Diante dos dados obtidos, estes foram extrapolados para a realidade da construção civil e foi levantada a quantidade de resíduo que poderia ser reciclado e dos insumos não renováveis que poderiam ser mitigados.

4 Apresentação dos resultados

A seguir, a Tabela 3 apresenta os custos identificados para os insumos necessários a fabricação dos blocos e o custos unitários de produção destes.

Tabela 3:

Estimativa de custo dos insumos para a produção do bloco de concreto

Materiais	Custo do insumo (R\$/kg)	Custo por m ³	
		Bloco sem PET	Bloco com PET
Cimento CP V ARI	0,3944	132,52	140,8
Areia natural	0,0403	13,58	6,21
Areia britada	0,0321	16,24	11,68
Brita #1	0,0363	36,48	26,17
PET	1,90	0,0	137,18
Água	0,0227	4,47	3,94
Aditivo 1	1,97	0,0	4,22
Aditivo 2	6,84	0,0	4,88
Custo total por m ³ de concreto		R\$ 203,3/m ³	R\$335,12/m ³
Custo total do m ² de bloco produzido		R\$16,39/m ²	R\$27,03/m ²
Custo total por unidade de bloco produzido		R\$0,41/unid	R\$0,68/unid

Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com a Tabela 3, constata-se que o custo de produção do concreto dosado com PET mostrou-se superior ao do concreto sem PET, isto ocorreu devido ao elevado preço do resíduo de PET em comparação aos preços dos agregados naturais e a necessidade de adição de aditivos para conferir ao concreto as características necessárias de acordo com a norma.

Baseados nos apresentados na Tabela 2, foram quantificados os materiais naturais e o resíduo de PET empregados na confecção do bloco de concreto para pavimento intertravado. Diante destes volumes os dados foram extrapolados para a realidade da construção civil e foi levantada a quantidade de resíduo que seria reciclado no concreto e de insumos não renováveis que poderiam ser mitigados quando da utilização do bloco confeccionado com resíduo de PET em comparação com o convencional.

Tabela 4:

Quantidade de material natural preservada na dosagem do bloco com PET

Material	kg/m ³	kg/m ²	kg/bloco
Areia natural	183	14,8	0,369
Areia Britada	141	11,4	0,284
Brita #1	284	22,9	0,573
Quantidade de resíduo de PET reciclado			
Material	kg/m ³	kg/m ²	kg/bloco
PET	72,2	5,82	0,145

Fonte: Dados da pesquisa

Observando a Tabela 4, observa-se que a utilização do concreto com PET permitiu deixar de consumir um total de 608 kg de agregados naturais não renováveis por metro cúbico de concreto utilizado, ou 49,1 kg de agregado por metro quadrado de pavimento ou seja 1,225 kg por unidade de bloco.

Também pode ser notado por meio da Tabela 4 que, quando utilizado o concreto com substituição de agregado natural por PET, este utilizou 72,2 kg de PET por metro cúbico de concreto produzido ou 5,82 kg de PET por metro quadrado de pavimento intertravado, o que representa 0,145 kg de PET por unidade de bloco confeccionado. Fazendo uma analogia com garrafas de 2 litros de PET, pode-se afirmar que, utilizando-se o traço em estudo, com o percentual de substituição de agregados naturais por PET na proporção de 33,8%, estariam sendo recicladas 1588 garrafas PET por metro cúbico de concreto produzido, representando 128 garrafas PET por metro quadrado de pavimento ou ainda 3,2 garrafas PET por unidade de bloco. Segundo informação da usina de reciclagem de PET, e fornecedora das amostras para esta pesquisa, cada quilo de flocos de PET representa 22 unidades de garrafa PET de 2 litros.

5 Conclusões

Apesar do bloco intertravado de concreto com adição de PET ter se mostrado viável tecnicamente, conforme demonstrado por Pires (2015), o custo de obtenção deste, quando comparado com o bloco de concreto convencional, se mostrou mais elevado; sendo esta diferença atribuída ao custo do PET e a necessidade de aditivos inseridos na mistura. Contudo, deve-se salientar que, caso os resíduos sejam doados, ou a própria empresa (ou cooperativa) que comercializou destes resíduos pudesse produzir estes blocos, o custo de aquisição do PET poderia ser considerado nulo, o que praticamente igualaria os custos de ambos os blocos.

O bloco de concreto com PET mostrou características ambientais relevantes, uma vez a execução deste traço deixa de retirar da natureza um total de 608 kg de agregados naturais não renováveis por metro cúbico de concreto produzido e reciclar 72,2 kg de PET, o que

equivaleria a 1588 garrafas PET de 2 litros por metro cúbico de concreto. Este indicadores ressaltam as afirmações de Pérez-Villarejo *et al.*, (2012), Safiuddin *et al.*, (2010) e Pappu *et al* (2007), de que a inovação tecnológica apresenta-se como uma interessante alternativa para a mitigação dos impactos ambientais causados pelos resíduos sólidos e que a incorporação destes aos processos de fabricação dos materiais de construção civil como parte de matéria prima contribui como uma prática sustentável para o setor. Ainda dentro do conceito ambiental, pode –se dizer que o bloco de concreto com PET se enquadra no conceito do *Tripple botton line*, pois garante os três pilares econômico, ambiental e o social para promover a sustentabilidade.

Referências

- ABIPET –Associação Brasileira do PET: 9º Censo de Reciclagem do PET no Brasil, São Paulo, SP, Brasil 2013.
- Amadei, D. I. B., Pereira, J. A., Souza, R. A. D., & Meneguetti, K. S. (2012). A questão dos resíduos de construção civil: um breve estado da arte. *Revista NUPEM*, 3(5), 185-199.
- Araujo, J. M. D., & Günther, W. M. (2007). Caçambas Coletoras de Resíduos da Construção e Demolição no Contexto do Mobiliário Urbano: uma questão de saúde pública e ambiental. *Saúde e Sociedade*, 16(1), 145-154.
- Ar, I. M. (2012). The impact of green product innovation on firm performance and competitive capability: the moderating role of managerial environmental concern. *Proceeded Social and Behavioral Sciences*, n. 62, n. 4, p. 854-864
- Akçaözöğlü, S., Atiş, C. D., & Akçaözöğlü, K. (2010). An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste Management*, 30(2), 285-290
- Barbieri, J. C. (2012). Políticas públicas indutoras de inovações tecnológicas ambientalmente saudáveis nas empresas. *Revista de Administração Pública*, 31(2), p135
- Barbosa, M. B., Pereira, A., Akasaki, J. L., Fioriti, C. F., Fazzan, J. V., Tashima, M. & Melges, J. L. P. (2013). Impact strength and abrasion resistance of high strength concrete with rice husk ash and rubber tires. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 6(5), 811-820.
- Besen, G. R., Gunther, W., Rodriguez, A., & Brasil, A. (2010). Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. *SALDIVA P. et al. Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles. São Paulo: Ex Libris.*
- Câmara Brasileira da Indústria da Construção (2014). Banco de Dados. Recuperado em 03 junho, 2014 de <http://www.cbicdados.com.br/menu/pib-e-investimento/pib-brasil-e-construcao-civil>.
- Coelho, T. M., Castro, R., & Gobbo, J. A. (2011). PET containers in Brazil: opportunities and challenges of a logistics model for post-consumer waste recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3), 291-299.
- Côrtes, R. G., França, S. L. B., Quelhas, O. L. G., Moreira, M. M., & Meirino, M. J. (2012). Contribuições para a Sustentabilidade na Construção Civil. *Sistemas & Gestão*, 6(3), 384-397.
- Costa, A., Gumieri, A., & Galvão, P. (2014). Interlocking concrete blocks produced with sinter feed tailings Piso intertravado produzido com rejeito de sinter feed.
- Choi, Y. W., Moon, D. J., Chung, J. S., & Cho, S. K. (2005). Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 776-781.
- Choi, Y. W., Moon, D. J., Kim, Y. J., & Lachemi, M. (2009). Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2829-2835.

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

Fioriti, C. F., Ino, A., & Akasaki, J. L. (2007). Avaliação de blocos de concreto para pavimentação intertravada com adição de resíduos de borracha provenientes da recauchutagem de pneus. *Ambiente Construído*, 7(4), 43-54.

Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste management*, 30(6), 1101-1106.

Gouveia, N. (2012). Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social Solid urban waste: socio-environmental impacts and prospects for sustainable management with social inclusion. *Ciênc. saúde coletiva*, 17(6), 1503-1510.

Hamad, K., Kaseem, M., & Deri, F. (2013). Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Polymer Degradation and Stability*, 98(12), 2801-2812.

Jacobi, P & Besen, G.R. (2011). Gestão de resíduos Sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Revista Estudos Avançados*; 25(71) p135-158.

Marzouk, M., & Azab, S. (2014). Environmental and economic impact assessment of construction and demolition waste disposal using system dynamics. *Resources, Conservation and Recycling*, 82, 41-49.

Madurwar, M. V., Ralegaonkar, R. V., & Mandavgane, S. A. (2013). Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review. *Construction and Building Materials*, 38, 872-878.

Modro, N., Modro, N., Modro, N., & Oliveira, A. (2009). Avaliação de concreto de cimento Portland contendo resíduos de PET. *Revista matéria*, 14(1), 725-736.

Motta, S. F., & Aguilar, M. T. P. (2009). Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 4(1), 88-123.

Pacheco-Torgal, F., Ding, Y., & Jalali, S. (2012). Properties and durability of concrete containing polymeric wastes (tyre rubber and polyethylene terephthalate bottles): An overview. *Construction and Building Materials*, 30, 714-724.

Paschoalin Filho, J. A., Dias, A. J. G., Cortes, P. L., & Duarte, E. B. L. (2014). 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*, n.6, p73-91.

Paschoalin Filho, J. A., & Graudenz, G. S. (2012). Destinação irregular de resíduos de construção e demolição e seus impactos na saúde coletiva. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v6, 421-432.

Pappu, A., Saxena, M., & Asolekar, S. R. (2007). Solid wastes generation in India and their recycling potential in building materials. *Building and Environment*, 42(6), 2311-2320.

Pereira, E., de Medeiros, M. H. F., & Levy, S. M. (2012). Durabilidade de concretos com agregados reciclados: uma aplicação de análise hierárquica. *CEP*, 81531, 980.

Pires, G.W.M.O.(2015). Avaliação técnica e econômica de blocos para piso intertravado manufaturado com concreto dosado com resíduos de PET (Politereftalato de Etileno) como alternativa sustentável na construção civil. Dissertação (Mestrado) Universidade Nove de Julho. São Paulo, 114p.

Rodrigues, L. P., & Holanda, J. N. F. (2013). Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solo-cimento (Influence of

- the incorporation of water treatment plant (WTP) sludge on the technological properties of soil-cement bricks). *Cerâmica*, 59, 551-556.
- Safiuddin, M., Jumaat, M. Z., Salam, M. A., Islam, M. S., & Hashim, R. (2010). Utilization of solid wastes in construction materials. *International Journal of Physical Sciences*, 5(13), 1952-1963.
- Saikia, N., & de Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, 52, 236-244.
- Segantini, A. A., & Wada, P. H. (2011). Estudo de dosagem de tijolos de solo-cimento com adição de resíduos de construção e demolição-[doi: 10.4025/actascitechnol.v33i2.9377](https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i2.9377). *Acta Scientiarum. Technology*, 33(2), 179-183.
- Silva, V. A., & Fernandes, A. L. T. (2012). Cenário do gerenciamento dos resíduos da construção e demolição (RCD) em Uberaba-MG. *Sociedade & Natureza*, 24(2), 333-344.
- Soto Izquierdo, I., & Ramalho, M. A. (2014). Application of residual ash and sisal fiber in the production of mortar and concrete: Review. *Ingeniería y Desarrollo*, 32(2), 344-368.
- Shen, L., Worrell, E., & Patel, M. K. (2010). Open-loop recycling: A LCA case study of PET bottle-to-fibre recycling. *Resources, conservation and recycling*, 55(1), 34-52.
- Taaffe, J., O'Sullivan, S., Rahman, M. E., & Pakrashi, V. (2014). Experimental characterisation of Polyethylene Terephthalate (PET) bottle Eco-bricks. *Materials & Design*, 60, 50-56.
- Taguchi, S. P., Santos, J. C., Gomes, T. M., & Cunha, N. A. (2014). Evaluation of technological properties of red ceramics incorporated with dimension stone waste from diamond wire loom. *Cerâmica*, 60(354), 291-296.
- Tam, V. W. (2009). Comparing the implementation of concrete recycling in the Australian and Japanese construction industries. *Journal of Cleaner Production*, 17(7), 688-702.
- Welle, F. (2013). Is PET bottle-to-bottle recycling safe? Evaluation of post-consumer recycling processes according to the EFSA guidelines. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 41-45.

