

AVALIAÇÃO DOS PARAMETROS SUSTENTÁVEIS PARA PAVERS CONFECCIONADOS COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081160

ALTOÉ; SILVIA PAULA SOSSAI[1]; GOÉS; ISADORA[1]; ROTTA; JOSÉ VENANCIO PINHEIRO[1]; BORIN; MATEUS ROBERTO[2]
[1]UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ; [2]UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ – CAMPUS APUCARANA.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: SPSALTOE@UEM.BR

RESUMO: A utilização de resíduos como matéria prima para a Indústria da Construção Civil ganha cada vez mais notoriedade. Porém, para avaliar a viabilidade desta utilização devem ser realizadas análises mais apuradas quanto a sua real contribuição frente a parâmetros de sustentabilidade. O objetivo do presente trabalho é avaliar esses parâmetros para pavers produzidos com resíduos de pneus e cinza do bagaço da cana-de-açúcar. Foram analisados aspectos como: redução no consumo de recursos naturais, neutralização de contaminantes, emissão de CO_2 e custos. Os resultados demonstram que a utilização dos resíduos propostos atendem os parametros sustentáveis avaliados dentro da utilização proposta.

PALAVRAS-CHAVES: Reciclagem; sustentabilidade; cinza do bagaço de cana-de-açúcar e pneu.

ABSTRACT: The use of waste as a raw material for the Civil Construction Industry is gaining more and more notoriety. However, to assess the feasibility of this use, more accurate analyzes should be carried out regarding its real contribution to sustainability parameters. The objective of this work is to evaluate these parameters for pavers produced with waste tires and sugarcane bagasse ash. Aspects such as: reduction in the consumption of natural resources, neutralization of contaminants, CO_2 emissions and costs were analyzed. The results demonstrate that the use of the proposed waste meets the sustainable parameters evaluated within the proposed use.

KEYWORDS: Recycling; sustainability; sugar cane bagasse ash and tire.

1 | INTRODUÇÃO

A crise energética, consumo indiscriminado de recursos naturais e a intensa geração e acúmulo de resíduos têm levado a grandes discussões sobre o impacto ambiental sofrido ao longo dos anos, e quais as consequências e resultados disto a longo prazo. O que de certa forma tem incentivado uma busca incessante por ações estratégicas que diminuam a degradação e o desequilíbrio causados no meio ambiente (TAVARES, 2010) (1).

Reciclagem de resíduos, utilização de materiais sustentáveis, economizar água e energia, potencializar a durabilidade, planejar a manutenção, assegurar segurança e higiene, redução dos custos, redução na produção de resíduos e reciclagem de resíduos,

são apontados por Teodoro (2011)[3] como pilares para uma construção sustentável.

Atualmente, a temática da construção sustentável, se conduz em duas direções: Os centros de pesquisa em tecnologias alternativas buscam o resgate de materiais e tecnologias nacionais como o uso de materiais naturais e pouco processados e são organizados em comunidades alternativas. E de outro lado, empresários apostam em "empreendimentos verdes" com as certificações, tanto no âmbito da edificação quanto no âmbito do urbano (MMA, 2016) [4].

Estabelecer regras sobre materiais serem mais ou menos sustentáveis é uma tarefa delicada, já que envolve oscilações de acordo com o método escolhido para ser feita tal analogia. Ainda que parte de alguns aspectos ambientais estejam cada vez mais acessíveis a sociedade, existe o perigo de serem inventados mitos por equívocos de interpretações e mudanças de dados, gerados por espaços incompletos por falta de um plano geral, que deve abranger todos os aspectos do material, afetando a veracidade da analogia (LEEUW, 2005)[5].

O presente trabalho tem como objetivo avaliar parâmetros de sustentabilidade de um ecomaterial desenvolvido por Altoé (2017)[6], este produto se constitui de pavers produzidos com resíduos de pneus e cinza do bagaço da cana-de-açúcar (CBC) em substituição ao agregado natural miúdo, a areia. Os resultados obtidos pela pesquisadora apresentaram propriedades físicas e mecânicas semelhantes aos pavers convencionais. A porcentagem de substituição foi de 27% de agregado natural por agregado reciclado, sendo 25% de CBC e 2% de pneu. Para isto foram analisados aspectos como: redução no consumo de recursos naturais, neutralização de possíveis contaminantes dos resíduos quando incorporados à matriz cimentícia, emissão de CO_2 e custos dos produtos.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais: Caraterização do Material

A Tabela 01 traz as características do bloco de concreto para pavimentação a ser avaliado:

Dimensões	Comprimento		Largura		Altura	
	190mm		90mm		80mm	
Traço (Kg)	Cimento	Areia	Brita	CBC	Pneu	Água
	1,00	1,95	1,35	0,66	0,04	0,42
Propriedades	Resist. Mecânica		Absorção		Abrasão	
	32,22 Mpa		5,23%		6,32 mm	

Tabela 01 – Características do Paver

Altoé (2017)[6] estudou combinações entre Cinza do Bagaço da Cana-de-açúcar (CBC) e resíduo de pneus em diferentes teores até obter um produto que apresentasse resultados semelhantes ao paver referência, sem utilização de resíduos na composição, foram avaliadas a resistência à compressão, a absorção de água e o índice de desgaste

por abrasão. O teor ótimo de substituição estabelecido foi de 27%, sendo 25% de CBC e 2% de pneu.

2.2 Métodos: Parâmetros de sustentabilidade

2.2.1 Redução no consumo de recursos naturais

Este parâmetro foi avaliado pela comparação do consumo de materiais para a confecção do traço com e sem resíduos, em valores absolutos, para a fabricação de 1 m3 de concreto.

2.2.2 Neutralização dos metais potencialmente contaminantes presentes nos resíduos

A presença de contaminantes, tanto nos resíduos quanto no produto final desenvolvido, foi determinada através de ensaios de lixiviação e solubilização dos mesmos. O procedimento utilizado na obtenção do extrato lixiviado seguiu a NBR 10005:2004 (ABNT:2004)[7], assim como o procedimento da extração do solubilizado seguiu a 10006:2004 (ABNT:2004)[8]. Sendo que, as amostras de lixiviado e solubilizado foram submetidas a determinação dos teores de contaminantes listados segundo os anexos F e G da NBR 10004:2004 (ABNT:2004)[9], por meio de Espectrômetro de Absorção Atômica (EAA) 52 Varian - SPECTRAA-240FS e Cromatógrafo de íons, Metrohm – 850 Professional IC.

2.2.3 Emissão de CO_2

A emissão de CO_2 foi obtida em um estudo baseado no método desenvolvido por Costa (2012)[10] denominado Método para a Quantificação das Emissões de CO_2 (Método QE- CO_2). O método possui três níveis de avaliação: básico, intermediário e avançado, para esta pesquisa foi adotado o método básico.

A fórmula geral do Método QE- CO_2, Equação 01, consiste na multiplicação da quantidade de produto utilizado na obra pelo fator de perda e pelo somatório das emissões geradas pelo consumo de energia e pelo transporte.

2.3 $Emissões_{MT1J} = QT_j \times FP \times (Emissões_{TR1,i} + Emissões_{EN1,i}$ (1)

$Emissões_{MT1,j}$ = emissões devido à utilização do produto j em edificações, em toneladas de CO_2;

QT_j = quantidade de produto j necessária na obra, em toneladas;

FP = fator de perda do produto j, adimensional, para concreto 6%;

$Emissões_{TR1,j}$ = emissões de devido ao consumo de energia i para o transporte de matérias primas e do produto j para a edificação, em toneladas / tonelada de produto j;

$Emissões_{EN1,j}$ = emissões devido ao consumo de energia i para extração e processamento do produto j necessário na edificação, em toneladas / tonelada de produto j.

2.3.1 Comparação de Custos

Este parâmetro foi avaliado pela comparação do custo dos materiais para a confecção do traço com e sem resíduos, em valores absolutos, para a fabricação de 1 m^3 de concreto.

3 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.1 Redução do consumo de recursos naturais

Com o teor ótimo de substituição encontrado por Altoé (2017)[5] tem-se uma redução de 27% no consumo de recursos naturais, ou seja, se para 1 m3 de concreto utilizado na fabricação de paver são consumidos aproximadamente 1100 kg de agregado miúdo ter-se-ia uma redução de 297 kg no processo de fabricação. Esta redução impacta diretamente na conservação e preservação dos recursos naturais, uma vez que com menos materiais utilizados por este tipo de indústria, a extração destes será reduzidza, garantindo, assim, que as próximas gerações também possam utilizar este recurso.

3.2 Neutralização dos metais potencialmente contaminantes presentes nos resíduos

A determinação da presença de materiais contaminantes nos resíduos é fundamental para a caracterização destes como perigosos ou não perigosos, inertes e não inerte, o que determina a sua destinação e também a sua forma de tratamento.

Os extratos lixiviados tanto da CBC quanto do resíduo de pneu não apresentaram parâmetros acima dos limites estabelecidos pela norma em seu F, sendo então classificados como um resíduo "NÃO PERIGOSO". Porém, o extrato solubilizado dos resíduos apresentou índices em alguns metais acima do Anexo G, o que os faz serem classificados dentro da classe dos não-inertes. Dessa forma, de acordo com a NBR 10004, todas as amostras do Resíduo de Pneus Inservíveis e da CBC analisadas podem ser classificadas, pelos parâmetros ora apresentados, como "Resíduo Não perigoso – Classe II A – Não inerte". Os resíduos com tal classificação podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. A Tabela 02 traz os metais cujos parâmetros exigidos foi excedido.

Parâmetros Solubilizado	Limite Máximo ANBT NBR 10004:2004 (Anexo G)	Concentração Residuo de Pneu (mg/l)	Concentração CBC (mg/l)
Alumínio	0,20	3,22300	2,00500
Cádmio	0,006	0,0013	0,00750
Chumbo	0,01	0,14265	0,14590
Mercúrio	0,001	0,00200	Nd

Tabela 2 - Concentração de ânions no extrato solubilizado acima dos parâmetros

Esta classificação indica que pode ocorrer algum tipo de contaminação tanto

do solo quanto da água caso os resíduos analisados sejam descartados de forma inadequada no meio ambiente. Para verificar se os contaminantes foram encapsulados pelo concreto foram realizados também os ensaios de solubilização e lixiviação nos pavers, buscando confirmar a eficiência da aplicação. Os resultados são apresentados na Tabela 03, e mostram que os metais analisados passaram a não apresentar mais concentrações que o classificasse o material como não-inerte.

Parâmetros	Limite Máximo ANBT NBR 10004:2004 (Anexo G)	Concentração Pavers referência (mg/l)	Concentração Pavers com resíduos (mg/l)
Alumínio	0,20	0,15	0,13
Cádmio	0,006	0,005	0,005
Chumbo	0,01	0,008	0,006
Mercurio	0,001	Nd	Nd

Tabela 3 - Concentração de ânions no extrato solubilizado – Pavers

Conner (1990)[11] e Wiles (1987) [12] estudaram o tratamento de resíduos sólidos industriais perigosos com pozolanas, cinzas volantes e cimento, verificando os mecanismos de conversão química e retenção física dos contaminantes. De acordo com os autores a imobilização do íon cádmio (Cd2+) está relacionada à sua precipitação na matriz cimentícia, reagindo com o $Ca(OH)_2$, resultando na substituição dos íons Cd_2+ e gerando o $CdCa(OH)_4$. Bishop (1986) afirma que a imobilização do chumbo (Pb+2) em cimento deve-se a dois fenômenos: primeiro a precipitação do hidróxido metálico e depois a sua encapsulação na fase C-S-H. De acordo com Bradley e Hanna (1994), em pH alcalino (pH > 7), os cátions Al+3 precipitam na forma de hidróxidos insolúveis [$Al(OH)_3$].

Os mecanismos de precipitação e encapsulamento supracitados podem ser uma explicação para a diminuição da liberação desses metais no solubilizado dos pavers fabricados com os resíduos propostos. Os resultados indicaram claramente que esses metais estão sujeitos a um mecanismo de imobilização decorrente do processo de tratamento utilizado, contribuindo dessa forma para a redução de contaminação do ambiente com a disposição do resíduo da forma usualmente adotada.

3.3 Emissão de CO_2

Um outro ponto que pode ser alvo de estudo é a emissão de CO_2, ou seja, verificar se a substituição proposta pode também contribuir para a redução a emissão deste tipo de gás, além de representar um ganho energético e de créditos de carbono.

A Tabela 4 traz os valores de Emissões devido ao consumo de energia para o transporte das matérias-primas e os valores de Emissões devido ao consumo de energia para Extração e Processamento do material. Os valores assinalados são tabelados por Costa (2012)[9] e as distâncias foram consideradas do ponto de extração dos materiais até a cidade de Maringá.

MATERIAL	EMISSÃO CO_2 TRANSPORTE				EMISSÃO CO_2 PRODUÇÃO (*)	EMISSÃO TOTAL DE CO_2 (t/kg)
	DIST.(KM)	Cot. (*)	Feche (*)	TOTAL		
AGREG MIÚDO	370	0,0196	0,0032	0,0232064	0,0722	0,0954
AGREG. GRAUDO	25	0,0196	0,0032	0,001568	0,0719	0,0735
CIMENTO	1120	0,0196	0,0032	0,0702464	0,6281	0,6983
CINZA	20	0,0196	0,0032	0,0012544	-	0,0013
PNEU	10	0,0196	0,0032	0,0006272	0,615	0,6156

Cot. = fator de consumo médio de energia de determinado tipo de veículo, em L/t/km, no caso adotado um caminhão de 12 a 26 t

Feche = fator de emissão corrigido da energia CO_2, em t / L

(*) = valores tabelados por Costa (2012)

Tabela 4 – Emissão de CO_2 dos materiais componentes

A Tabela 5 traz os valores de emissão obtidos para a fabricação de 1 m^3 de concreto, considerando o fato de perda de produto de 6% para concretos estabelecido pelo método.

MATERIAL	TRAÇO T0			TRAÇO TR		
	QTDADE (kg)	CO_2 (ton./ kg)	CO_2/MAT (ton./m3)	QTDADE (kg)	CO_2 (ton./ kg)	CO_2/MAT (ton./m3)
AGREG. MIÚDO	1092,50	0,0954	0,0063	797,525	0,0954	0,0045
AGREG. GRAUDO	655,50	0,0735	0,0029	655,50	0,0735	0,0029
CIMENTO	437,00	0,6983	0,0183	437,00	0,6983	0,0183
CINZA	0	0,0013	0	273,125	0,0013	0,0000
PNEU	0	0,6156	0	21,85	0,6156	0,0008
TOTAL (tCO_2/m3)			0,0275			0,0265

Tabela 5 – Cálculo da Emissão de CO_2 por m^3 de concreto

A substituição do agregado miúdo por resíduos de pneus e CBC promoveu uma redução de 3,7% da emissão de CO_2 em relação ao traço de referência.

3.4 Comparação de Custos

Para a análise do custo de materiais para a produção do concreto foram realizados levantamento de preços dos itens envolvidos e também o consumo de cada componente, conforme apresentado na Tabela 6. No custo da CBC foi considerado somente o valor de frete, não foi levado em consideração o valor do material, uma vez que este resíduo atualmente é tratado como resíduo sem valor comercial.

MATERIAL	TRAÇO T0			TRAÇO T		
	QTDADE (kg)	R$ UNIT	R$ TOTAL	QTDADE (kg)	R$ UNIT	R$ TOTAL
AGREG. MIÚDO	1092,50	0,052	56,81	797,53	0,052	41,47
AGREG. GRAUDO	655,50	0,046	30,15	655,50	0,046	30,15
CIMENTO	437,00	0,80	349,60	437,00	0,80	349,60
CINZA	0	0,015	0	273,13	0,015	4,10
PNEU	0	0,20	0	21,85	0,20	4,37
TOTAL (R$/m3)			436,56			429,70

Tabela 6 – Custos do Concreto (m3)

Do ponto de vista de custo, quando considerado o custo da CBC como zero, observa-se que a variação entre os custos totais de produção foi pequena, sendo reduzidos o percentual de 1,57%

4 | CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos o material se mostra eficiente frente aos parâmetros de sustentabilidade levantados, uma vez que a utilização dos resíduos gera uma redução de custo no produto final, além de reduzir de forma significativa a utilização de recursos naturais aplicados na fabricação tradicional. Fora isso, a utilização destes resíduos na forma de agregado para concreto para a fabricação de blocos de concreto para pavimentação oferece uma forma adequada para disposição destes, uma vez que observa-se a partir dos ensaios de lixiviação e solubilização do concreto produzido, que os metais presentes nos resíduos foram neutralizados, com uma eficiência de neutralização de aproximadamente 100%, ficando dentro dos índices aceitáveis que tornam o concreto do paver um material não perigoso e inerte.

A redução na emissão de CO_2 é uma característica a ser ressaltada nesta pesquisa, o que contribui significativamente para a preservação ambiental, já que a emissão de gases poluentes é um fator de grande impacto nas soluções ambientais. Desta forma, pode-se afirmar que o ecomaterial estudado tem grande potencial do ponto de vista sustentável.

REFERÊNCIAS

1. TAVARES, Priscila de Oliveira. **Aplicação do conceito de sustentabilidade em construções residenciais**,2010. Disponível: http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/59.pdf Acesso: 15/02/2020.

2. JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição para metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** 2000. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2000.

3. TEODORO, Nuno Filipe Godinho. **Contribuição para a Sustentabilidade na Construção Civil: Reciclagem e Reutilização de Materiais**. 2011. Dissertação (mestrado) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2011.

4. BRASIL. **MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA**). http://www.mma.gov.br, 2016.

5. LEEUW,B. **The World Behind the Product**. Journal Of Industrial Ecology,2005. Disponível em:http://www.oitbrasil.org.br/sites/default/files/topic/green_job/doc/construcoes_sustentaveis_orientador_106.pdf. Acesso:06/02/2020

6. ALTOE, S. P. S. **Resíduos de pneus e da queima do bagaço da cana-de-açucar na fabricação de blocos de concreto para pavimentação (pavers).** 2017. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.2017.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006**: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos Rio de Janeiro, 2004.

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

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

10. COSTA, B, L, C. **Quantificação das emissões deCO_2 geradas na produção de materiais utilizados na construção civil no Brasil.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

11. CONNER, J.R. **Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes**. New York. Van Nostrand Reinhold, 1990.

12. WILES, C. C. A review of solidification/stabilization technology. In: **Journal of Hazardous Materials**. V. 14, p. 5-21. 1987.